



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E ECOLOGIA
GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

SABRINA APARECIDA RAMOS DA FONSECA

**ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS DE
CONTINGÊNCIA AO DERRAMAMENTO
DE ÓLEO: ESTUDO DE CASO DO
CAMPO DE GOLFINHO, ESPÍRITO
SANTO – BRASIL.**

VITÓRIA
2009

SABRINA APARECIDA RAMOS DA FONSECA



ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS DE CONTINGÊNCIA AO DERRAMAMENTO DE ÓLEO: ESTUDO DE CASO DO CAMPO DE GOLFINHO, ESPÍRITO SANTO – BRASIL.

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Oceanografia do Departamento de Oceanografia e Ecologia da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Renato David Ghisolfi

VITÓRIA
2009

SABRINA APARECIDA RAMOS DA FONSECA

**ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS DE CONTINGÊNCIA AO
DERRAMAMENTO DE ÓLEO: ESTUDO DE CASO DO CAMPO
DE GOLFINHO, ESPÍRITO SANTO – BRASIL.**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Oceanografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia.

Entregue no dia 24 de novembro de 2009.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Renato David Ghisolfi
Orientador – DOC/CCHN/UFES

MSc. Angelo Teixeira Lemos
Co-orientador – DOC/CCHN/UFES

Prof. Dr. Valéria da Silva Quaresma
Examinador Interno – DOC/CCHN/UFES

**ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS DE CONTINGÊNCIA AO
DERRAMAMENTO DE ÓLEO: ESTUDO DE CASO DO CAMPO
DE GOLFINHO, ESPÍRITO SANTO – BRASIL.**

por

Sabrina Aparecida Ramos da Fonseca

Submetido como requisito parcial para obtenção do grau de

Oceanógrafo

na

Universidade Federal do Espírito Santo

Novembro de 2009

© Sabrina Aparecida Ramos da Fonseca

Por meio deste, o autor confere ao Colegiado do Curso de Oceanografia e ao Departamento de Oceanografia e Ecologia da UFES permissão para reproduzir e distribuir cópias parciais ou totais deste documento de monografia para fins não comerciais.

Assinatura do autor _____
Curso de Graduação em Oceanografia
Universidade Federal do Espírito Santo

Certificado por _____
Prof. Dr. Renato David Ghisolfi
Orientador – DOC/CCHN/UFES

Certificado por _____
MSc. Angelo Teixeira Lemos
Co-orientador – DOC/CCHN/UFES

Certificado por _____
Prof. Dr. Valéria da Silva Quaresma
Examinador Interno – DOC/CCHN/UFES

***Aos meus pais, eternos
amores da minha vida.***

AGRADECIMENTOS

A Deus por te me concedido esta vitória.

Aos meus pais, pelo exemplo de vida e amor incondicional.

Ao meu irmão, por todo o carinho e, por ser exemplo de paciência.

Aos meus sobrinhos, por inspirarem a minha vida.

Aos meus familiares, em especial a vovó, por compreenderem os momentos de ausência

Aos meus professores, por serem exemplos de dedicação e profissionalismo.

Ao meu orientador, Renato Ghisolfi, por toda oportunidade de crescimento a mim concedida.

Ao Angelo, pela ajuda na construção deste trabalho e por ser exemplo de perseverança.

A Valéria, pelas contribuições dadas ao trabalho apresentado.

A todos os amigos do Lab. Poseidon, principalmente, Pri Guaitolini, Leilane Passos, Igor Moura, Pri Farias e Geórgia Catabriga, pela companhia e momentos de descontração em meio ao trabalho.

A todos os amigos da graduação, especialmente Bibica, Dani Peron, Flavinha, Maribel, Mari Alves, May, Tetê e Tati, pela amizade, carinho, respeito, etc, etc, etc...

E porque sem elas não teria a menor graça.

A Edy, Paulete, Raianica, Teca e Tico pela amizade e cumplicidade

A Agência Nacional de Petróleo e Gás (ANP), Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e ao MCT (Ministério de Ciência e Tecnologia) pelo financiamento do Programa de Recursos Humanos da UFES, PRH – 29.

E a todos que, mesmo aqui não citados, contribuíram para que eu conseguisse alcançar este objetivo.

Muito obrigada!

**“Restam-nos hoje, no silêncio
hostil, o mar e a saudade”
Fernando Pessoa**

RESUMO

A modelagem é uma ferramenta altamente integradora que têm permitido nos últimos anos a elaboração de estratégias de atendimento emergencial que envolva o contingenciamento do petróleo derramado sobre a superfície marinha. Inserido no contexto do Plano de Emergência Individual, o presente estudo objetivou a elaboração de estratégias de combate utilizando o modelo numérico *Oil Spill Contingency and Response* (OSCAR), desenvolvido pela Fundação de Pesquisa Científica e Industrial de Tecnologia da Noruega (SINTEF), para possíveis derramamentos de 350.000m³ e 35.000m³ do petróleo produzido no Campo de Golfinhos pela unidade FPSO Capixaba. Como alicerce para a elaboração das estratégias de resposta foram consideradas as diretrizes da resolução CONAMA 398/08, de tal forma, foram elaborados quatro diferentes cenários para o contingenciamento do óleo liberado no mar. Os resultados das simulações de resposta mostraram que, frente a uma ocorrência real de um vazamento de 350.000m³ de petróleo, a região costeira seria inevitavelmente atingida pelo óleo, acarretando prejuízos de diversas naturezas, todavia, para o vazamento de volume 35.000m³ de petróleo, adotando-se as estratégias de respostas sugeridas neste trabalho, os impactos na região costeira seriam significativamente minimizados. Para a avaliação da rentabilidade e viabilidade destas ações de resposta foi levado em consideração tanto os benefícios ambientais e socioeconômicos quanto à relação custo/benefício, oriundos do emprego destas estratégias.

Palavras-chave: Modelagem computacional; Derramamento de óleo; Estratégias de combate ao derrame de óleo no mar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Número dos grandes derramamentos.....	21
Figura 2. Causas de incidentes envolvendo grandes volumes de óleo.....	22
Figura 3. Processos intempéricos ocorrentes nos ambientes aquáticos.....	28
Figura 4. Especificação do período de ocorrência dos processos intempéricos sobre um óleo intermediário derramado sobre a superfície marinha	29
Figura 5. Exemplo de barreira de contenção utilizada em derramamentos offshore.	33
Figura 6. Recolhedor utilizado para remoção do petróleo presente na superfície marinha	34
Figura 7. Inter-relação entre os submodelos que compõe o modelo OSCAR. No presente estudo somente o modelo de exposição biológica não foi considerado.....	35
Figura 8. Diagrama de processamento do modelo de dispersão de óleo OSCAR....	37
Figura 9. O x marca a localização da FPSO Capixaba, no Campo de Golfinho, Bacia do Espírito Santo. O gradiente em verde destaca os níveis batimétricos da região segundo o SeaTopo 6.2	39
Figura 10. Representação do Giro Subtropical do Atlântico Sul.....	41
Figura 11. Batimetria da margem continental leste e bacia abissal adjacente à costa leste brasileira extraída da base de dados ETOPO2	43
Figura 12. Fluxograma de realização das simulações dos cenários que foram considerados.....	46

Figura 13. Composição do óleo importado do banco de dados do modelo OSCAR que será utilizado nas simulações de derramamento de óleo.....	49
Figura 14. Padrão de circulação atmosférica para o período do verão considerando os dias 01/01/1998 (A), 16/01/1998 (B), 01/02/1998 (C) e 16/02/1998 (D). Esta figura vem mostrando variações na magnitude e direção dos ventos incidentes sobre a costa do Espírito Santo, para exemplificação das variações do campo atmosférico da região	51
Figura 15. Padrão de circulação superficial para o período do verão considerando os dias 01/01/1998 (A), 16/01/1998 (B), 01/02/1998 (C) e 16/02/1998 (D). Na seqüência desta figura pode ser observado o processo de formação de um vórtice, exemplificando as variações ocorrentes no campo hidrodinâmico da região.....	52
Figura 16. Disposição de uma barreira de contenção em mar aberto feita por barcos (A). E a imagem do “skimmer” Tarantula (B), recolhedor utilizado no recolhimento de petróleo disposto sobre a superfície marinha.....	54
Figura 17. Ilustração do procedimento de remanejamento das formações. Em A tem-se a disposição inicial das formações (Cen Ref), e em B , a disposição final das formações após terem sido efetuados os remanejamentos(Cen Ref rem).	58
Figura 18. Ilustração do procedimento de remanejamento das formações. Em A tem-se a disposição inicial das formações (Cen Ref + 50%), e em B , a disposição final das formações após terem sido efetuados os remanejamento (Cen Ref + 50% rem)60	
Figura 19. Mapas probabilísticos mostrando a padrão geral da distribuição do petróleo derramado sobre a superfície marinha considerando a ocorrência de vazamentos de 350.000 m ³ (A) e 35.000 m ³ (B) de petróleo durante 1 dia. Este padrão de espalhamento foi o mesmo observado para os cenários que consideraram os vazamentos dos volumes supracitados ocorrendo ao longo de 7, 15 e 30 dias... 61	

Figura 20. Padrão de deslocamento da pluma livre de óleo liberada no ambiente no dia 16 de fevereiro de 1998. Na figura estão sobrepostas a espessura da mancha (mm), a concentração (ppm) e o diâmetro das partículas (μm).....	64
Figura 21. Faixa costeira atingida pelo derrame de 350.000m^3 petróleo liberado na ambiente marinho durante 15 dias	65
Figura 22. Balanço de massa para 30 dias de simulação da pluma livre de óleo liberada no ambiente sem a intervenção antrópica na contenção e recolhimento do material. Observe que a escala de valores são variáveis para efeito de melhor visualização gráfica	66
Figura 23. Área total ocupada pela pluma de óleo ao longo de 30 dias de simulações para os cenários de não resposta e de resposta considerados no presente estudo, considerando o derramamento de 350.000m^3 de petróleo.....	68
Figura 24. Área da superfície exposta acumulada ao longo de 30 dias de simulação dos cenários de resposta para o volume de 350.000m^3 de derramamento	69
Figura 25. Padrão de deslocamento da pluma livre de óleo liberada no ambiente no dia 02 de março de 1998. Na figura estão sobrepostas a espessura da mancha (mm), a concentração (ppm) e o diâmetro das partículas (μm).....	70
Figura 26. Faixa costeira atingida pelo derrame de 35.000m^3 petróleo liberado na ambiente marinho durante 7 dias	71
Figura 27. Balanço de massa para 30 dias de simulação da pluma livre de óleo liberada no ambiente sem a intervenção antrópica na contenção e recolhimento do material. O volume derramado foi de 35000m^3 e o vazamento ocorreu em 7 dias ..	72
Figura 28. Área total ocupada pela pluma de óleo ao longo de 30 dias de simulações para os cenários de não resposta e de resposta considerados no presente estudo, considerando o derramamento de 35.000m^3 de petróleo por 7 dias.....	74

Figura 29. Área da superfície exposta acumulada ao longo de 30 dias de simulação dos cenários de resposta para o volume de 35.000m³ de derramamento vazado por 7 dias..... 75

Figura 30. Aumento percentual do óleo como resultado da emulsificação de quatro grupos distintos de óleo classificados segundo o seu °API..... 78

Figura 31. Padrão de espalhamento de um óleo com °API variável entre 17,5 e 35,5, sob registros diferenciados de velocidades dos ventos, sendo: (A) Baixa velocidade (B) Alta velocidade. No caso A o óleo é mais facilmente removido da superfície marinha, pois a mancha esta espessa e pouco dispersa na superfície da água. Já no segundo caso (B), a contenção e remoção do óleo é dificultada, pois a mancha de óleo está menos espessa e abrangendo uma maior área da superfície marinha, o que dificulta o cerco da mancha pelas barreiras de contenção e a sua posterior remoção pelos “skimmers”..... 79

Figura 32 – Percentuais de efetividade das estratégias de repostas ao final de 30 dias de simulação do derramamento de 350.000 m³ de petróleo em relação ao Cen NR 80

Figura 33 – Percentuais de efetividade das estratégias de repostas ao final de 30 dias de simulação do derramamento de 35.000 m³ de petróleo em relação Cen NR 80

Figura 34 – Relação custo/benefício das estratégias de respostas adotadas determinada pela razão entre o percentual de efetividade das repostas em relação frente ao tempo de atuação das embarcações no mar, considerando o volume do derrame igual a 350.000 m³..... 83

Figura 35– Relação custo/benefício das estratégias de respostas adotadas determinada pela razão entre o percentual de efetividade das repostas em relação frete ao tempo de atuação das embarcações no mar, considerando o volume do derrame igual a 35.000 m³ 83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros dos derramamentos	48
Tabela 2 – Características do óleo utilizado.....	49
Tabela 3 – Valores ajustados dos parâmetros ambientais, do modelo e da grade de simulação	50
Tabela 4 – Características das barreiras de contenção, recolhedores e embarcações que foram utilizadas para elaboração das estratégias de resposta.....	54
Tabela 5 – CEDRO solicitada para determinados períodos vigentes após a ocorrência do derramamento de óleo, utilizado em todos os cenários de resposta simulados	55
Tabela 6 – Capacidade de recolhimento disponível para os três diferentes estágios de ação	55
Tabela 7 – Capacidade de recolhimento disponibilizadas para os intervalos de tempo determinados na resolução CONAMA 398/08 para as três diferentes etapas do contingenciamento consideradas neste estudo.....	59
Tabela 8 – Especificação das vazões, datas e horas de início dos cenários de pior caso dados os derramamentos de 350.000 m ³ e 35.000 m ³ de petróleo obtidos através de simulações probabilísticas.....	62
Tabela 9 – Percentual de destinação final do óleo para os cenários de não resposta considerando o vazamento de 350.000m ³ e 35.000m ³ de petróleo durante 1, 7, 15 e 30 dias.....	63

Tabela 10 – Percentual de destinação final do óleo ao final de 30 dias de simulação do cenário de não resposta e dos cenários de resposta para o derrame de 350.000m³ de óleo 67

Tabela 11 – Percentual de destinação final do óleo ao final de 30 dias de simulação do cenário de não resposta e dos cenários de resposta para o derrame de 35.000m³ de óleo 73

Tabela 12 – Tempo médio de atuação de cada embarcação nos diferentes cenários de respostas considerados neste trabalho. Observe que os tempos não aumentam proporcionalmente com o incremento da estrutura uma vez que as estruturas pararam de funcionar quando não havia mais óleo presente na superfície da água. 82

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVOS.....	20
2.1 Objetivo Geral.....	20
2.2 Objetivos Específicos	20
3 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA	21
3.1 Panorama mundial e nacional para derramamentos de óleo no ambiente marinho	21
3.2 Parâmetros legais	23
3.3 O Petróleo	25
3.3.1 Processos intempéricos	28
3.3.1.1 Espalhamento	29
3.3.1.2 Evaporação	30
3.3.1.3 Dissolução.....	30
3.3.1.4 Dispersão	30
3.3.1.5 Emulsificação	30
3.3.1.6 Oxidação	30
3.3.1.7 Sedimentação	31
3.3.1.8 Biodegradação	31
3.4 Estratégias de Resposta.....	31
3.4.1 Barreiras e recolhedores	33
3.5 O modelo computacional (OSCAR)	34
4 ÁREA DE ESTUDO	38
4.1 Clima e regime de ventos	39
4.2 Hidrodinâmica	41
5 METODOLOGIA.....	45

5.1 Material	45
5.2 Métodos	46
5.2.1 Parâmetros das simulações	48
5.2.1.1 Parâmetros dos derramamentos	48
5.2.1.2 Características Físico-Químicas do Petróleo	48
5.2.1.3 Parâmetros de ajuste do modelo OSCAR.....	50
5.2.2 Cenários Simulados	53
5.2.2.1 Cenários Probabilísticos.....	53
5.2.2.2 Cenários Determinísticos	53
5.2.2.2.1 Cenários de Não Resposta (Cen NR)	53
5.2.2.2.2 Cenários de Resposta	53
5.2.2.2.2.1 Cenário de Referência (Cen Ref).....	53
5.2.2.2.2.2 Cenário de Referência associado ao remanejamento das formações (Cen Ref rem)	56
5.2.2.2.2.3 Cenário de Referência com aumento de 50% CEDRO (Cen Ref + 50%)	59
5.2.2.2.2.4 Cenário de Referência com aumento de 50% CEDRO e efetuação do remanejamento das formações (Cen Ref + 50% rem)	59
6 RESULTADOS	61
6.1 Cenários probabilísticos	61
6.2 Cenários determinísticos	62
6.2.1 Determinação dos cenários críticos de verão.....	62
6.2.1.1 DERRAMAMENTO DE 350.000 m³ DE PETRÓLEO AO LONGO DE 15 DIAS	63
6.2.1.1.1 Cenário de não resposta (Cen NR).....	66
6.2.1.1.2 Cenários de resposta	66
6.2.1.2 DERRAMAMENTO DE 35.000 m³ DE PETRÓLEO AO LONGO DE 7 DIAS	69
6.2.1.2.1 Cenário de não resposta (Cen NR).....	69
6.2.1.2.2 Cenários de resposta	72
7 DISCUSSÃO	76
8 CONCLUSÃO	85

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXO	95

1 INTRODUÇÃO

O Estado do Espírito Santo tem sido destaque nacional na produção de petróleo e gás natural. Nos últimos anos, principalmente pela Petrobrás, foram descobertas grandes jazidas destes produtos que fizeram o Espírito Santo saltar, no ano de 2002, da quinta para a segunda posição no ranking brasileiro de reservas provadas, tendo atualmente potencial estimado em cerca de 2,5 bilhões de barris (ANP, 2009).

O Capítulo 17 da Agenda 21 estabeleceu os direitos e obrigações dos países, oferecendo a base internacional sobre a qual devem ser apoiadas todas as atividades relacionadas para a proteção e o desenvolvimento sustentável do meio ambiente marinho e costeiro, e seus recursos. Em face ao demasiado crescimento das atividades de produção de petróleo no Brasil e no mundo, tem sido registrados derrames de volumes variados deste produto no ambiente marinho, que acabam por ocasionar impactos negativos de diversas naturezas. Porto (2000) aponta que, em conformidade com a definição proposta no artigo 1º da Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos do Mar (1982) estes tipos de incidentes compõem a chamada poluição marinha.

Rosman (2006) aponta que tem crescido o emprego de modelagem numérica em análises de prognóstico e diagnóstico de incidentes envolvendo derramamentos de óleo nos ambientes aquáticos, uma vez que esta é uma ferramenta altamente integradora que permite uma visão dinâmica destes ambientes.

Alguns modelos computacionais têm permitido a elaboração de estratégias necessárias ao atendimento emergencial que envolva o espalhamento do óleo sobre a superfície da água, no contexto de Plano de Emergência Individual (PEI), constituindo uma ferramenta fundamental na gestão ambiental das atividades relacionadas à produção de óleo, uma vez que, com a utilização de dados de entrada confiáveis os resultados obtidos a partir das simulações podem se assemelhar enormemente a situações reais (IBAMA, 2002). Exemplos de modelos computacionais que podem ser utilizados para auxiliar a elaboração de respostas a

incidentes envolvendo liberações de petróleo no mar são: o modelo ADIOS (*Automated Data Inquiry for Oil Spills*), desenvolvido pela Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA); OILMAP (*Oil Spill Model Assessment Package*) e o SIMAP (*Integrated Oil Spill Impact Model System*), ambos desenvolvidos pela Applied Science Associates, Inc. (ASA) dos Estados Unidos e o modelo OSCAR (*Oil Spill Contingency and Response*) desenvolvido pela Fundação de Pesquisa Científica e Industrial de Tecnologia da Noruega (SINTEF – *Applied Chemistry*) (FERREIRA 2006; PIMENTEL, 2007).

Inserido neste contexto, este estudo objetivou a simulação numérica, com o modelo OSCAR, de estratégias de contenção e remoção do óleo para possíveis vazamentos ocorrentes no Campo de Golfinho – ES, onde se encontra operante a unidade FPSO Capixaba (*Floating Production Storage and Offloading Vessel*), a fim de se minimizar os impactos provenientes da ocorrência destes incidentes.

Para a elaboração das estratégias de contenção e remoção, foram adotadas as diretrizes da Resolução CONAMA 398/08, que dispõe sobre o conteúdo mínimo do PEI para incidentes de poluição por óleo em águas sob a jurisdição do governo brasileiro (CONAMA, 2008), com base na Capacidade Efetiva Diária de Recolhimento de Óleo (CEDRO) (CONAMA, 2008).

O presente trabalho está organizado iniciando-se por uma breve introdução, seguida dos objetivos, apresentação de uma contextualização teórica, detalhamento da área de estudo, explicação da metodologia empregada, apresentação e discussão dos resultados gerados, sendo finalizado com a apresentação do material bibliográfico utilizado para o embasamento teórico deste trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Elaborar e simular diferentes estratégias de combate, utilizando o modelo numérico OSCAR, considerando a ocorrência de derramamentos de petróleo no período de verão a partir da unidade FPSO Capixaba.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar quais são os cenários de derramamentos críticos do verão considerando vazamentos de 350.000m³ e 35.000m³ de um óleo intermediário (27,5°API), durante 1, 7, 15 e 30 dias.
- Estabelecer estratégias de combate a possíveis derrames de óleo, baseados na Resolução CONAMA 398 de 2008, considerando os cenários críticos de vazamento de 350.000m³ e 35.000m³ de petróleo.
- Analisar comparativamente os diferentes cenários de respostas obtidos, considerando:
 - (1) A logística de combate disponível;
 - (2) A relação custo/benefício e otimização para a aquisição de equipamentos e sua disposição final.

3 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

3.1 Panorama mundial e nacional para derramamentos de óleo no ambiente marinho

Incidentes envolvendo derramamentos de petróleo nos ambientes aquáticos estão inseridos no contexto de poluição, constituindo uma das principais fontes de poluentes para os ecossistemas marinhos, apesar de ser notória a redução do número de casos desta natureza registrados nas últimas décadas (Figura 1).

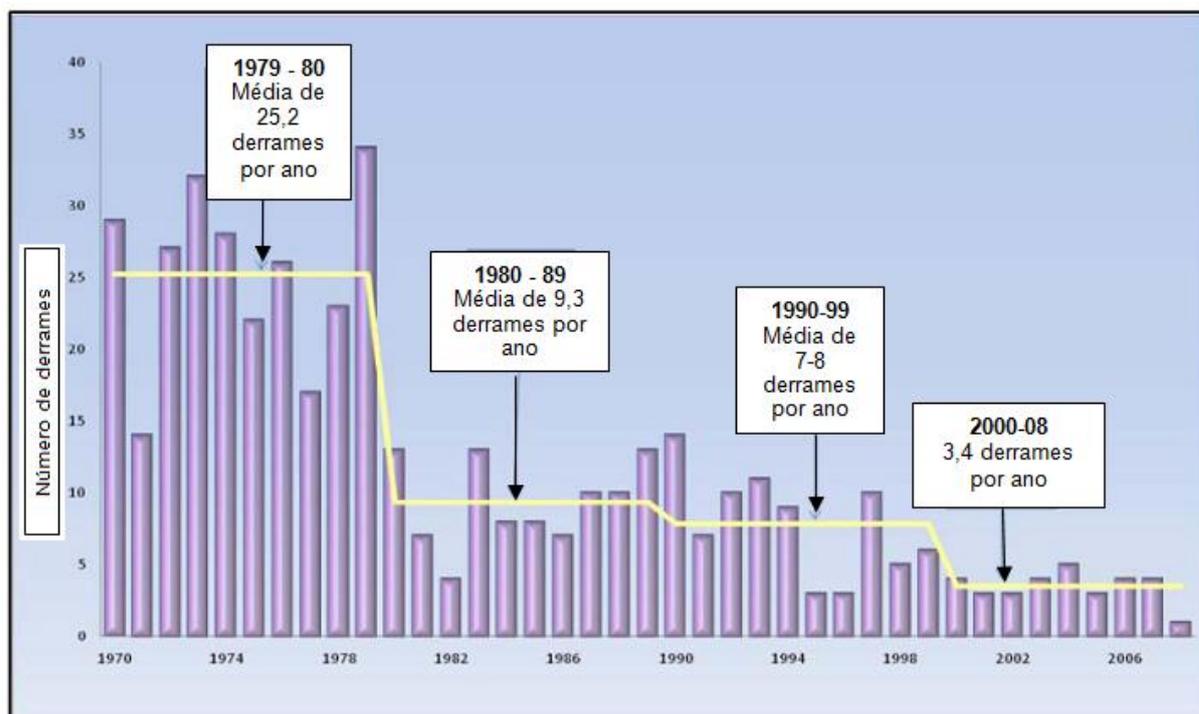


Figura 1 – Número dos grandes derramamentos.

Fonte: ITOPF (2009).

Na Figura 1, observa-se que a média atual de derrames envolvendo descargas de óleo superiores a 700 toneladas nos ambientes aquáticos são equivalentes à cerca de um terço dos incidentes ocorridos na década de 70.

Considerando as maiores ocorrências de derrames de petróleo no mar, as operações de carregamento e descarregamento dos petroleiros e navios aliviadores

(28%), e colisões de diversas naturezas (25%) são apontadas como suas principais causas, como mostrado abaixo (ITOPF, 2009) (Figura 2).

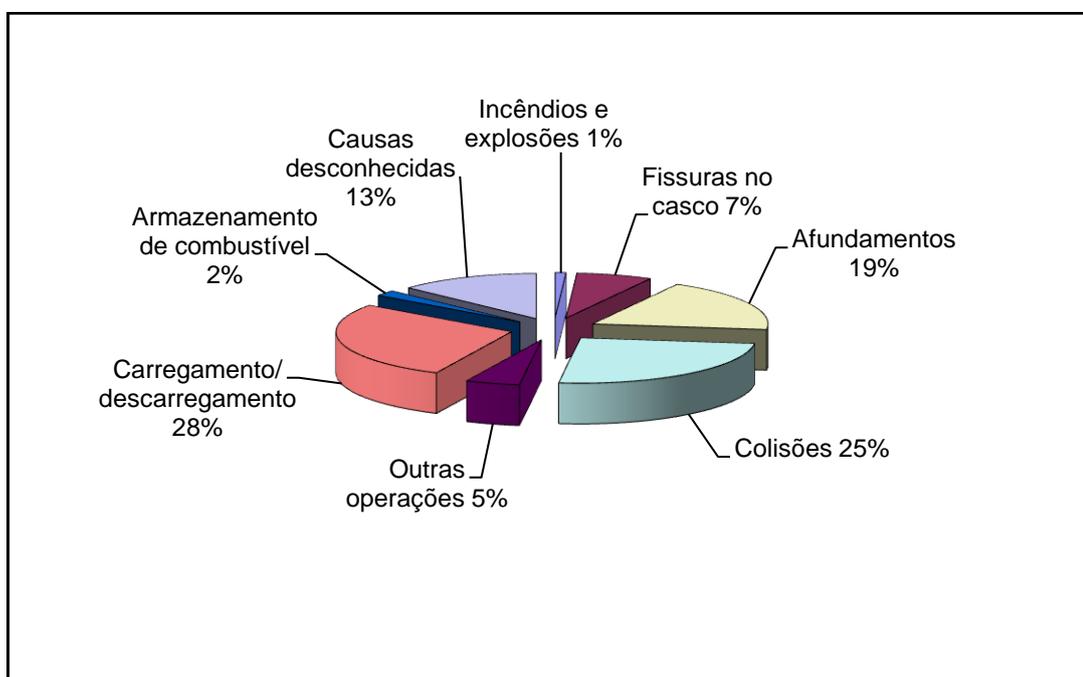


Figura 2 – Causas de incidentes envolvendo grandes volumes de óleo.

Fonte: ITOPF (2009).

Internacionalmente, há variações entre as políticas governamentais dos países para o combate a derramamentos de óleo. Todavia, um ponto convergente seria a atribuição de responsabilidades aos órgãos ambientais, por exemplo, na elaboração de modelos de derramamentos de óleo, uma vez que esta tarefa é executada por centros de pesquisas das universidades e do governo. Pode-se ressaltar que entre essas nações os procedimentos considerados na mitigação de incidentes envolvendo liberações de petróleo no mar têm como base primária os critérios do Tratado de Prevenção de Poluição Marinha (IPIECA, 2000).

Sabe-se que no Brasil, o marco histórico relacionado ao surgimento de políticas de meio ambiente que tratam de derrames de petróleo e seus derivados nos ecossistemas aquáticos foi o rompimento de um oleoduto que ocasionou a liberação de 1,3mil m³ de óleo combustível na Baía de Guanabara-RJ, no ano de 2000. Após este incidente, como catástrofes de grandes proporções registradas no país, pode-se citar, o afundamento da Plataforma P 36 (2001), localizada na Bacia de Campos-

RJ, e a explosão do Navio Vicuña (2004) na Baía de Paranaguá-PR (CETESB, 2009).

3.2 Parâmetros legais

Os derramamentos de petróleo no ambiente marinho vêm gerando a alguns anos discussões com foco principal na definição de diretrizes para que haja minimização de registros de casos desta natureza.

Diversas convenções internacionais foram realizadas para se discutir o potencial da poluição por óleo no ambiente marinho, sendo a primeira delas intitulada *International Convention for the Prevention of Pollution of the Sea by Oil* (Convenção Internacional para Prevenção da Poluição Marinha por Óleo – OILPOL 54), realizada pelo governo britânico por iniciativa do Conselho Social e Econômico das Nações Unidas, cujo objetivo principal foi prevenir a ocorrência de derramamentos de petróleo no ambiente durante o transporte do óleo por navios petroleiros (IMO, 2009).

Dentre as convenções internacionais já realizadas, a MARPOL - Prevenção da Poluição Marinha Causada por Navios - é uma das que merece maior destaque. O ANEXO I do relatório da MARPOL abrange aspectos relacionados à minimização dos impactos ambientais ocasionados por falhas operacionais ou acidentes envolvendo embarcações (CETESB, 2009).

No ano de 1990, foi promulgada no Brasil a Política Nacional de Meio Ambiente pela Lei Federal 6.938, cujo objetivo foi assegurar ao país que o desenvolvimento socioeconômico ocorresse proporcionalmente ao planejamento e fiscalização do uso de recursos naturais, proteção das áreas ameaçadas de degradação, recuperação de áreas impactadas, e a melhoria e recuperação da qualidade ambiental (BRASIL, 1980). Como mecanismo de formulação da Política Nacional de Meio Ambiente, foi regulamentada a criação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

No Brasil, está prevista na legislação a necessidade do estabelecimento de planos de ação para o combate às emergências envolvendo casos de poluição por substâncias nocivas ou perigosas em águas brasileiras. Regulamentada pelo Decreto Lei 4.136/02, a Lei do Óleo (Lei Federal 9.666/00), dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada pelo lançamento de óleo e outras substâncias nocivas em águas sob jurisdição nacional. Nela faz-se menção ao PEI, regulamentado como Plano Nacional de Contingência (PNC) e o Plano de Área.

Para incidentes envolvendo o derrame de óleo no mar é determinada à realização de modelagem numérica seguindo os critérios básicos estabelecidos pelo ELPN/IBAMA (Escritório de Licenciamento de Atividades do Petróleo e Nuclear), atual CGPEG (LEMOS, 2009).

Bethlem et al. (2002 apud LEMOS, 2009) apontam que segundo o CGPEG, é obrigatória, por parte dos empreendedores, a apresentação de estudos de modelagem de derramamentos de óleo para que seja determinada toda a área de influência indireta da atividade de produção de óleo, bem como, realizar-se coletas de dados *in situ* para que seja feita a calibração e validação dos modelos numéricos. Os autores supracitados apontam ainda que dentro do escopo do Licenciamento Ambiental a modelagem numérica é utilizada como ferramenta fundamental para a avaliação dos impactos das atividades petrolíferas, permitindo a elaboração de estratégias de resposta do PEI. No Relatório de Impacto Ambiental devem estar contidas análises probabilísticas e determinísticas relativas ao comportamento da pluma livre de óleo liberada no mar.

Voltadas para a mitigação dos derramamentos de óleo nos corpos d'água, foram regulamentadas as Resoluções CONAMA 269 e 293, em 2000 e 2001, respectivamente. No ano de 2008 a Resolução CONAMA 293 foi revogada e substituída pela CONAMA 398. A Resolução 269 regulamenta o uso de dispersantes químicos em derrames de óleo no mar. Já a Resolução CONAMA 398 dispõe sobre o conteúdo mínimo do PEI para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional originados em portos organizados, instalações portuárias ou

terminais, dutos e plataformas, bem como para suas respectivas instalações de apoio, dando orientações em seus três anexos (CONAMA, 2008a, 2008b, 2008c).

No primeiro ANEXO da Resolução CONAMA 398/08 é relatado que o plano deverá estar disponível na instalação para pronto emprego, sendo estabelecido seu conteúdo mínimo. No ANEXO II são dadas instruções para a elaboração do PEI, que deverá ser apresentado para análise e aprovação pelo órgão ambiental. O ANEXO III relata as instruções que apresentam os critérios de dimensionamento da capacidade mínima de resposta das instalações.

Em relação ao ANEXO III, considerando que a unidade de produção é uma FPSO, devem ser realizadas, para determinação do comportamento da pluma livre de óleo no mar, simulações numéricas considerando o derrame da soma total da capacidade de estocagem, supondo a existência de um derramamento contínuo ao longo de trinta dias.

Finalmente, não sendo obedecidas as determinações acima expostas, são aplicadas as sanções penais regulamentada pela Lei Federal 9.666 que revogou a de número 5.357, onde foram estabelecidos que para o caso de incidentes envolvendo o derrame de óleo ou outros detritos em águas nacionais seriam cobradas multas cujos valores estariam entre sete mil e cinqüenta milhões de reais dependendo das particularidades do derrame.

3.3 O Petróleo

O petróleo (do latim *petra* – pedra e *oleum* – óleo) é uma substância oleosa, inflamável, de densidade menor que a da água, com cheiro característico e cor variando entre o preto e o castanho-claro. Compõe-se de uma mistura complexa constituída, basicamente, de hidrocarbonetos que apresentam números variáveis de átomos de carbono (CLARK, 2001)

Os hidrocarbonetos do petróleo são agrupados em quatro classes básicas – (I) aromáticos, (II) parafínicos, (III) naftênicos e (IV) oleofínicos - dependentes do arranjo estrutural dos átomos de carbono e hidrogênio (BRASIL, 2007).

- I. *Hidrocarbonetos aromáticos* – apresentam em sua estrutura 6 átomos de carbono ligados alternadamente por ligações duplas e simples, compondo os anéis aromáticos. Dentre os hidrocarbonetos aromáticos o benzeno é o mais simples, sendo dele derivado um grande número de substâncias relativamente solúveis em água. No grupo dos hidrocarbonetos aromáticos estão agrupados os compostos que apresentam maior toxicidade podendo ser citados, dentre eles, os HPA's (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos) que são compostos altamente lipofílicos. Devido a tais características estes compostos tendem a se associar a materiais em suspensão presentes na coluna d'água e ser sedimentados, podendo ser bioacumulados, e causar efeitos negativos nas populações muito tempo depois da ocorrência dos derrames. Os HPAs são resistentes a biodegradação assim como são muito persistentes na coluna d'água e no sedimento.
- II. *Hidrocarbonetos parafínicos* - estes são os maiores constituintes do petróleo. Também denominados de alcanos, formam cadeias simples e ramificadas de carbono com ligações químicas saturadas.
- III. *Naftênicos* – muitos hidrocarbonetos apresentam seus átomos de carbono dispostos na forma de anéis. No caso dos naftênicos, estes anéis apresentam apenas ligações simples entre os átomos de carbono, sendo denominados de clicoalcanos. Quando comparados aos aromáticos constituem compostos menos tóxicos e mais rapidamente removidos do ambiente pela atuação de microorganismos na sua degradação.
- IV. *Oleofínicos* – hidrocarbonetos que apresentam uma dupla ligação entre os átomos de carbono. Não são encontrados originalmente no petróleo, sendo formados principalmente quando o óleo é aquecido a uma temperatura superior a 500°C sob a presença de catalisadores, o que provoca a ruptura da

cadeia carbônica dos hidrocarbonetos formando compostos de cadeias menores.

As principais características físico-químicas do petróleo são referentes à sua densidade relativa, persistência, viscosidade, ponto de fulgor, solubilidade e tensão superficial (BRASIL, 2007).

- *Densidade relativa* – é a gravidade específica, isto é, a razão entre a densidade do óleo e da água pura. Esta densidade é apresentada internacionalmente como grau API.
- *Persistência* – relacionada ao tempo de degradação de 50% do óleo presente na superfície marinha. Esta degradação é dependente das propriedades físicas do produto, das condições climáticas e oceanográficas.
- *Viscosidade* – resistência interna ao fluxo que o fluido está sujeito.
- *Ponto de Fulgor* – traduzido como a temperatura a partir da qual há liberação de vapores em concentrações suficientes para que o óleo presente na superfície do mar queime quando tiver contato com uma fonte de ignição. Esta característica constitui um importante fator de segurança para as equipes que trabalham na contingência de derramamentos de óleo.
- *Solubilidade* – É o processo no qual uma substância se dissolve em outra. Constitui-se num fator altamente importante devido ao grau de toxicidade do petróleo aos organismos aquáticos.
- *Tensão superficial* – é a força de atração entre as moléculas na superfície de um líquido. A tensão superficial e a viscosidade determinam a taxa de espalhamento na superfície da água.

O conhecimento de tais propriedades é de fundamental importância, pois estas auxiliam na tomada de decisões durante o atendimento emergencial através da

escolha adequada de procedimentos e equipamentos compatíveis com o tipo de óleo liberado no ambiente, além de possibilitar a determinação dos possíveis efeitos à saúde do homem e do meio ambiente. (FERREIRA, 2006).

3.3.1 Processos intempéricos

Quando liberado no ambiente marinho, o petróleo passa por uma gama de processos naturais que modificam suas características originais (Figura 3). O processo de modificações é denominado intemperismo. Este é fortemente influenciado pelas características físico-químicas do produto liberado e pelas condições meteoceanográficas da área do derrame.

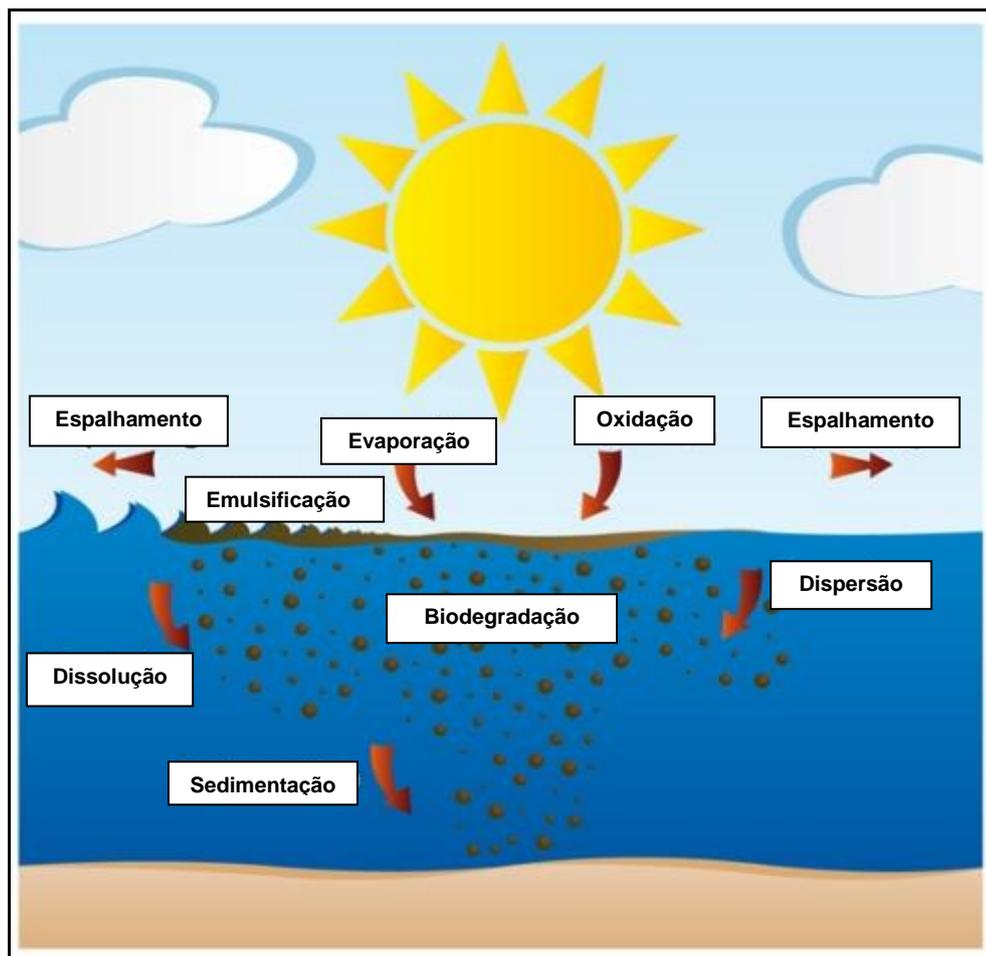


Figura 3 – Processos intempéricos ocorrentes nos ambientes aquáticos.

Fonte: Modificado de ITOPF (2009a).

A Figura 4 especifica o início e duração dos processos naturais ocorrentes num óleo intermediário quando este é liberado no ambiente marinho, em conformidade ao tipo de óleo considerado neste estudo. O comprimento da linha indica o tempo de duração de cada processo atuante sobre o óleo, sendo a sua espessura associada à intensidade de ocorrência do mesmo.

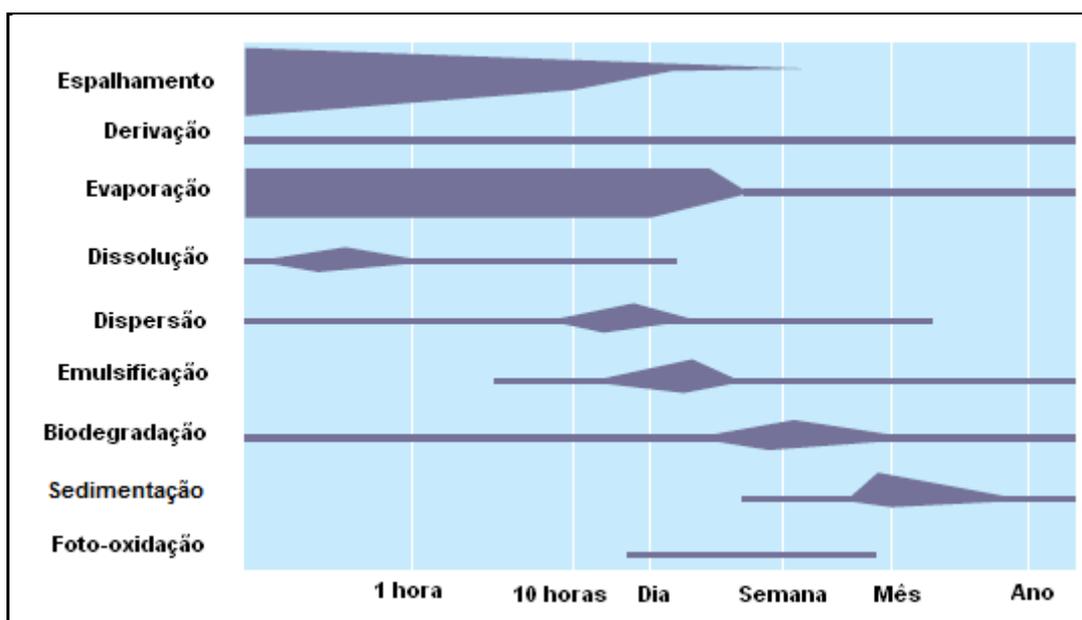


Figura 4 – Especificação do período de ocorrência dos processos intempéricos sobre um óleo intermediário derramado sobre a superfície marinha.

Fonte: Modificado de IPIECA (2000).

Segundo informações extraídas do manual de orientação da CESTEB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) (BRASIL, 2007) e do guia de suporte a elaboração de planos de contingência da IPIECA (*Internacional Petroleum Industry Environmental Conservation Association*) (2000), os diversos processos naturais ocorrentes no petróleo liberado no mar são descritos a seguir.

3.3.1.1 Espalhamento

Quando ocorre a liberação do óleo, a mancha se expande horizontalmente influenciada pela ação de ventos, marés, ondas e correntes. O espalhamento ocorre mais intensamente nas 24 horas seguintes a liberação do óleo no mar, podendo durar mais de uma semana, conforme mostrado na Figura 4.

3.3.1.2 Evaporação

Os compostos dos hidrocarbonetos são transferidos para a atmosfera através do processo de evaporação. Este processo ocorre intensamente nas primeiras horas que seguem o derramamento. Sabe-se que as taxas de evaporação são aumentadas com a intensificação da temperatura ambiente, da velocidade dos ventos e da radiação solar.

3.3.1.3 Dissolução

É caracterizada pela passagem dos componentes do óleo da superfície para coluna d'água através da ação de ondas e correntes. A dissolução ocorre com maior intensidade nas primeiras horas seguintes ao derramamento.

3.3.1.4 Dispersão

O processo de dispersão se inicia imediatamente após a ocorrência do derramamento do petróleo, sofrendo intensificação nas 48 horas seguintes à sua liberação no ambiente. A turbulência na água promove a quebra das manchas de óleo em gotículas de tamanhos variados, que dependendo das suas dimensões podem se misturar às camadas superficiais da água ou permanecer em superfície formando as chamadas manchas iridescentes.

3.3.1.5 Emulsificação

Este processo ocorre quando há a incorporação de água pelas moléculas de hidrocarbonetos. Ocorre mais vigorosamente nos períodos de 10 horas a 7 dias seguintes a ocorrência do derrame. A formação das emulsões água-óleo é dada pela turbulência da superfície da água, resultando num material extremamente viscoso e de difícil degradação.

3.3.1.6 Oxidação

Iniciado na primeira hora após o derramamento, este processo pode durar até um mês, sendo atribuído a ele a formação de compostos de alta toxicidade e muito solúveis em água, pela ocorrência de reações químicas proporcionadas pela incidência de luz ultravioleta sobre a mancha de óleo.

3.3.1.7 Sedimentação

Este processo é intensificado nas primeiras 4 semanas que seguem o derramamento. Nele os componentes mais pesados do petróleo são adsorvidos por partículas inorgânicas, podendo se aderir também a sólidos flutuantes, tendendo a sofrer sedimentação no fundo marinho.

3.3.1.8 Biodegradação

A água do mar contém microorganismos (bactérias e fungos) que podem degradar o óleo total ou parcialmente em compostos solúveis na água. Este processo está diretamente relacionado à disponibilidade de oxigênio e a ocorrência de temperatura superficial marinha superior a 18°C. Como a biodegradação requer oxigênio, este processo só ocorre na interface óleo-água. Sabe-se que tal processo é iniciado na primeira semana após o derramamento, tornando-se mais intenso nos 30 dias seguintes podendo durar até 1 ano.

3.4 Estratégias de Resposta

Apesar de estatísticas apontarem para uma significativa redução do número de incidentes envolvendo derrames de óleo no ambiente marinho, sabe-se que eles continuam a ocorrer acarretando significativos impactos ao meio ambiente (ITOPF, 2009).

A sociedade, quando ciente da existência de um derramamento, cobra do poluidor e das instituições que atuam na resposta a esses eventos medidas para minimização dos impactos oriundos deste tipo de poluição. Assim sendo, muitas vezes há conflitos entre as prioridades sociais e ambientais, o que dificulta a escolha dos

procedimentos mais adequados para o combate as manchas de óleo, uma vez que cada derramamento tem suas características e demandas ambientais particulares. Cabe ressaltar a importância do conceito de custo/benefício utilizado por DICKS, 1998; DICKS, et al., 2000; ITOPI, 2004a; KERAMBRUN; PARKER, 1998; WHITFIELD, 2003; BAKER, 1900 (apud BRASIL, 2007), que avalia os benefícios sócio-ambientais de cada método, em conformidade com as demandas específicas de cada evento.

A elaboração de planos de contingência visa o estabelecimento de respostas a derrames de óleo, que deverão ser seguidas quando forem registradas ocorrências desta natureza, uma vez que é essencial um atendimento emergencial objetivando a manutenção da integridade dos ambientes atingidos pelo óleo.

Dentre as diferentes estratégias de resposta utilizadas podem ser citadas: o monitoramento aéreo da mancha, a contenção e o recolhimento, a dispersão mecânica, a dispersão química, a queima *in situ*, a biorremediação e, a proteção e limpeza da linha de costa, como os procedimentos mais usualmente empregados na recuperação dos ambientes atingidos pelo óleo. A compreensão dos processos naturais que determinam o intemperismo do óleo e o conhecimento de seus períodos de ocorrência (Figuras 3 e 4, respectivamente) são de suma importância para subsidiar as operações de resposta, uma vez que, os métodos são eficientes quando utilizados com estrutura logística apropriada em relação à quantidade e as características físico-químicas do óleo a ser recolhido.

As limitações das técnicas e dos equipamentos que serão utilizados pelas equipes de combate também devem ser bem compreendidas, uma vez que, quando empregados podem apresentar problemas relacionados à redução de sua eficiência em consequência das condições meteoceanográficas do ambiente no momento de sua implementação, afinal, ventos, ondas e correntes facilitam a dispersão, quebra e o espalhamento das manchas de óleo (IPIECA, 2000; NORDVICK, 1995).

Métodos de limpeza para áreas de oceano aberto primam pela retirada do óleo da superfície da água com a utilização de técnicas e equipamentos específicos, podendo ser citados os estudos desenvolvidos por Evers; Sørheim; Singssas (2006),

Pimentel (2007), Ferreira (2006) e Carmona, Gherardi, Tessler (2003), como alguns exemplos dos vários trabalhos desenvolvidos relacionados a este tema de estudo.

No presente trabalho foram elaboradas estratégias de respostas com a utilização de barreiras e recolhedores, cujos princípios de funcionamento estão explicados a seguir.

3.4.1 Barreiras e recolhedores

Entende-se por barreira de contenção uma estrutura fixa ou móvel que varre uma determinada faixa da superfície aquática contendo o óleo flutuante (Figura 5).

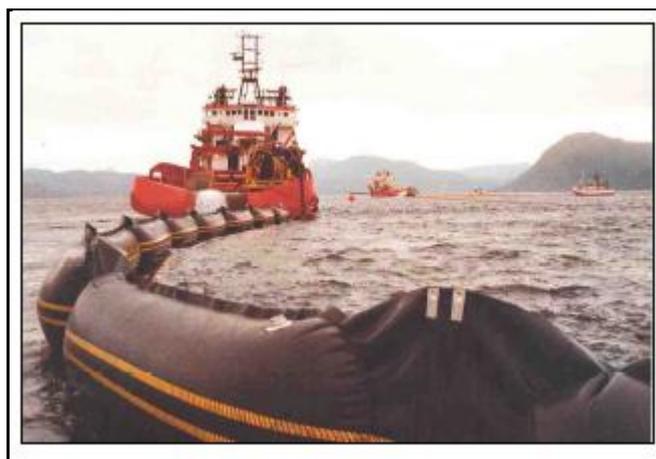


Figura 5 – Exemplo de barreira de contenção utilizada em derramamentos offshore.

Fonte: Hidroclean (2009).

Existem diversos tipos de barreiras de contenção empregadas em cenários específicos. Por exemplo, em locais protegidos como baías, enseadas, canais e estuários são utilizadas barreiras menos robustas, ao passo que em regiões de oceano aberto são utilizadas barreiras de maiores dimensões.

Geralmente, as operações de contenção de petróleo são realizadas conjuntamente à remoção deste material por recolhedores (Figura 6), sendo estes equipamentos utilizados para recolher o petróleo e seus derivados oleosos da superfície da água quando estes são contidos pela utilização de barreiras.



Figura 6 – Recolhedor utilizado para remoção do petróleo presente na superfície marinha.

Fonte: Hidroclean (2009).

A utilização conjunta de barreiras e recolhedores apresenta elevado grau de dificuldade, fato que requer grande dispêndio de recursos e pessoal para sua efetivação. O treinamento e a capacitação das equipes de resposta constituem elementos essenciais para que resultados positivos possam ser alcançados.

3.5 O modelo computacional (OSCAR)

Em conformidade com a classificação apresentada por Rosman (2006), o OSCAR é um modelo de transporte lagrangeano/euleriano (Probabilístico e Determinístico).

O modo determinístico é utilizado para realização de simulações de transporte advectivo-difusivo através de reações cinéticas para camadas selecionadas de escoamento bi ou tri dimensionais (2D ou 3D). Já, o modo probabilístico permite a obtenção de resultados de probabilidades a partir de N eventos ou de T resultados computados ao longo de um período (ROSMAN, 2006).

Desenvolvido pela SINTEF, o modelo OSCAR apresenta como componentes de seu sistema operacional um modelo de intemperismo do óleo (AAMO, et al., 1993; DALING, et al. 1990, 1991 apud SINTEF 2009), um modelo tridimensional do destino químico e trajetória do óleo (REED, et al., 1995b), um modelo de resposta a

derramamentos de óleo no mar (realizando simulações que consideram o desempenho dos equipamentos utilizados na elaboração da respostas) (AAMO et al, 1995, 1996 apud SINTEF, 2009) e modelos de exposição dos organismos marinhos (tais como peixes, mamíferos marinhos, etc) ao petróleo (DOWNING; REED, 1996). A inter-relação entre os modelos é mostrada na Figura 7.

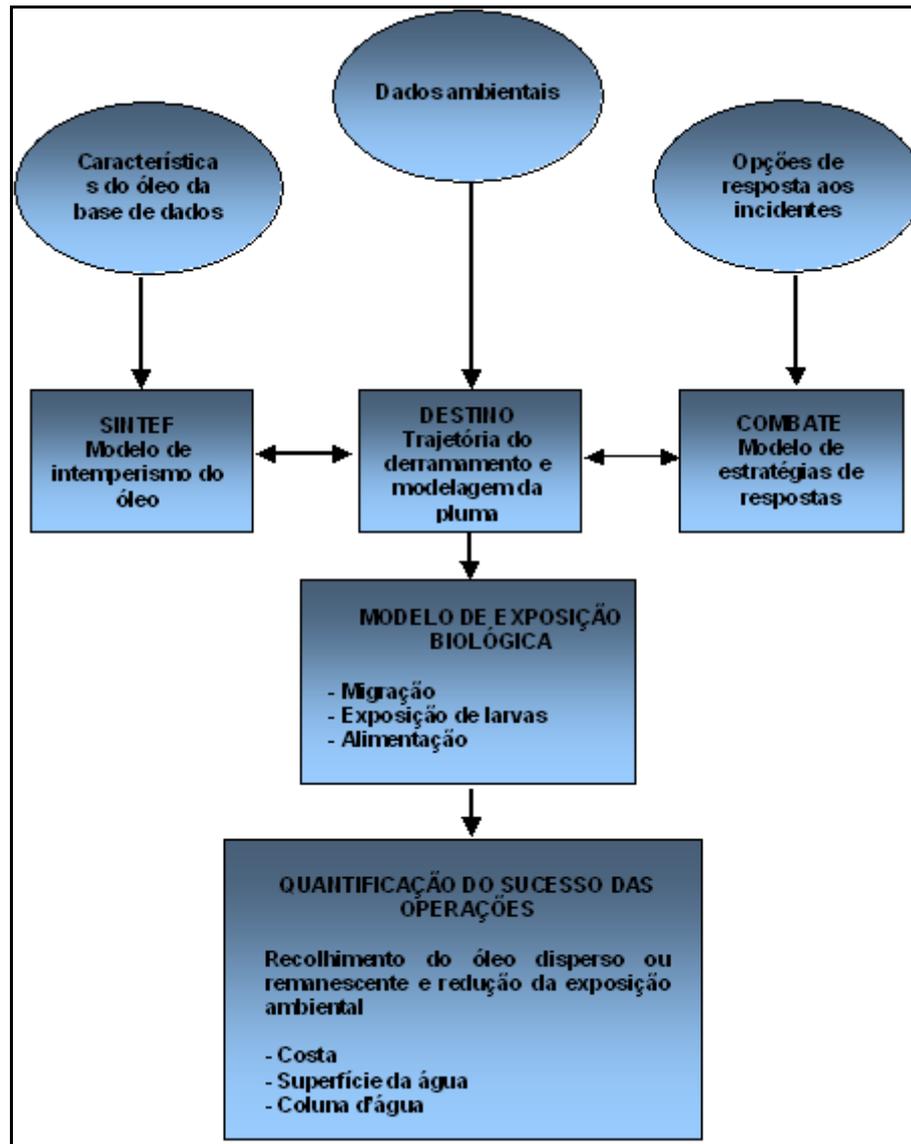


Figura 7 – Inter-relação entre os submodelos que compõe o modelo OSCAR. No presente estudo somente o modelo de exposição biológica não foi considerado.

Fonte: SINTEF (2009).

Segundo Reed (2001), a resolução da linha de costa utilizada pelo modelo é de 1Km. A batimetria definida no modelo é proveniente do *SeaTopo 6.2*, cuja área abrangida se estende da latitude de 72°S a 72°N, numa resolução de 3 a 10 Km.

Além disso, o OSCAR possui um modelo de intemperismo baseado em dados práticos obtidos em laboratório. A trajetória e o destino final do óleo são determinados a partir das forçantes meteorológicas (vento, correntes e ondas). Os dados de onda não são fornecidos pelo usuário, mas os valores de altura significativa (H) e período (T) são calculados a partir das Fórmulas 1 e 2 (U.S. Army of Engineers Shore Protection Manual).

$$\frac{gH}{U_A^2} = 0,283 \tanh \left[0,530 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{3/4} \right] \tanh \left\{ \frac{0,00565 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2}}{\tanh \left[0,530 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{3/4} \right]} \right\} \quad (1)$$

$$\frac{gT}{U_A} = 7,54 \tanh \left[0,833 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{3/8} \right] \tanh \left\{ \frac{0,0379 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3}}{\tanh \left[0,833 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{3/8} \right]} \right\} \quad (2)$$

Onde,

U = velocidade do vento;

d = profundidade da pista;

F = pista de vento;

g = aceleração da gravidade.

Para a realização de simulações de acordo com o diagrama da Figura 8, devem ser informados os seguintes parâmetros, tipo e composição do óleo, condições de vazamento (taxa, localização, profundidade, temperatura e salinidade) e o número de partículas, grade de simulação, níveis de profundidade, fator do vento, etc. Associadas a essas informações devem ser implementados no modelo dados da dinâmica meteorológica, de batimetria e do contorno da linha de costa (AAMO et al. (1993) ; REED et al (1994,1995a, b)).

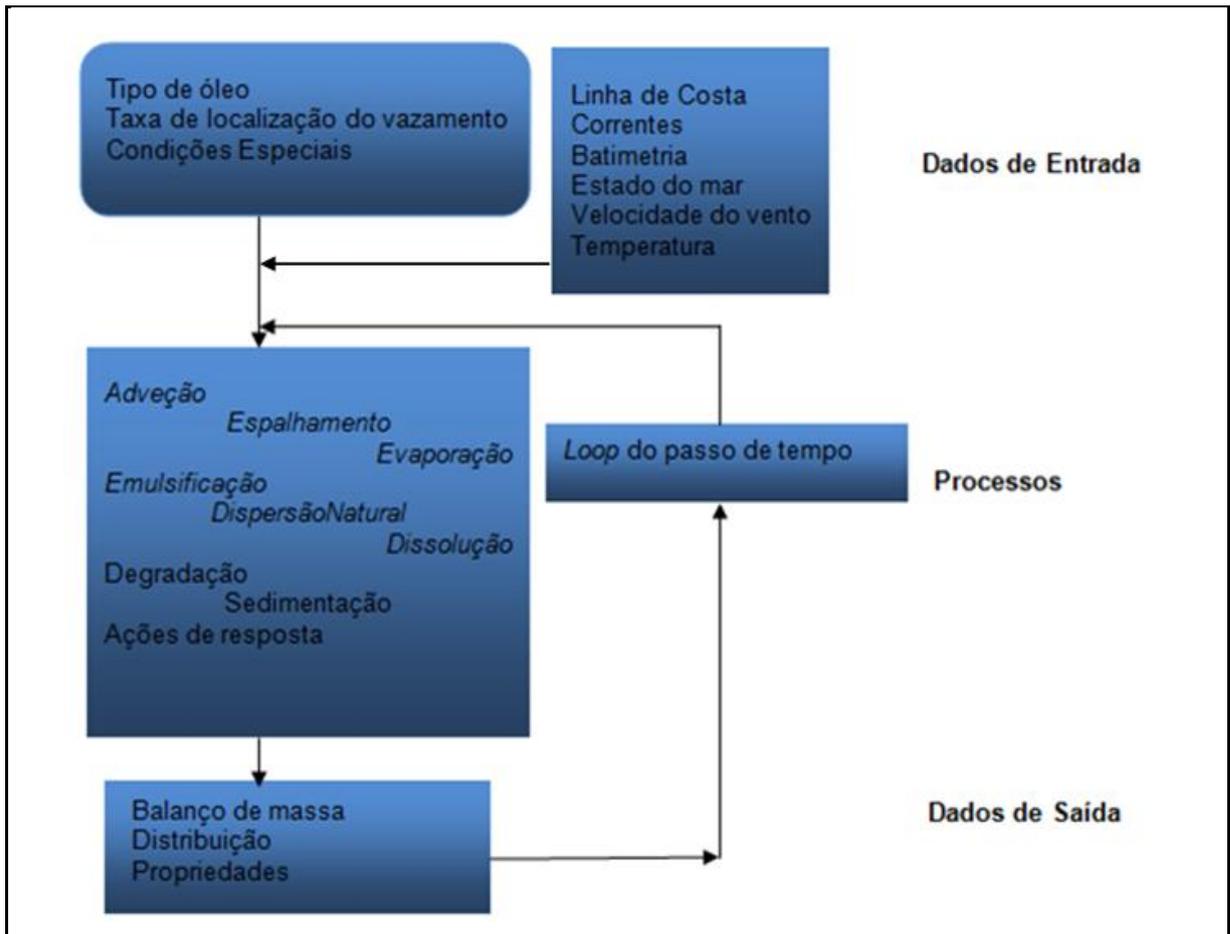


Figura 8 – Diagrama de processamento do modelo de dispersão de óleo OSCAR.

Fonte: Adaptado de Reed (2001).

Lemos (2009) aponta que o OSCAR é um modelo no qual não podem ser realizadas alterações no seu código fonte. A única forma de interação do usuário com o modelo é através de janelas gráficas onde são determinados os parâmetros do modelo e dos cenários de derramamentos que se pretende simular.

Ao término das simulações probabilísticas e determinísticas, o modelo gera diversos mapas. Os mapas probabilísticos mostram resultados eulerianos da superfície, coluna d'água e linha de costa. Já os determinísticos podem ser visualizados de maneira 3D sob a forma lagrangeana, sendo informados a quantidade de petróleo que vai para o fundo marinho, a viscosidade do óleo, quantidade de água misturada, sua concentração na distribuição sobre a superfície marinha, diâmetro das partículas, concentração do óleo que chega à costa e espessura da mancha (LEMOS, 2009).

4 ÁREA DE ESTUDO

Segundo informações da ANP referentes ao ano de 2009, a Bacia do Espírito Santo apresenta 14,43 milhões de m³ de reservas provadas e cerca de 34,97 milhões de m³ de reservas totais de petróleo. Localizada ao longo do litoral centro-norte do estado do Espírito Santo e sul do Estado da Bahia (porção leste da Plataforma Continental Brasileira - PCB), a Bacia do Espírito Santo abriga o Campo de Golfinho, sítio de interesse do presente estudo.

O Campo de Golfinho, localizado no antigo bloco exploratório BES-100 se encontra a cerca de 60 km da costa do município de Aracruz - norte espírito-santense, apresentando profundidades variando entre 1250 e 1640 metros, agrupando diversos reservatórios que evoluíram sobre um complexo de terrenos ígneos e metamórficos pré-cambrianos. O Campo de Golfinho apresenta reservas de óleo leve com grau API variável entre 28 e 40. (VIEIRA, et al.,1994 apud MILANI, et al., 2001; ANP, 2009).

A Figura 9 mostra a localização do FPSO Capixaba, em relação à batimetria local, cujas coordenadas geográficas são 20°00'7,54"S e 39°33'32"W. Instalado no Campo de Golfinho, o FPSO Capixaba foi adotado como o ponto a partir do qual foram feitas simulações para potenciais acidentes envolvendo derramamentos de petróleo no mar.

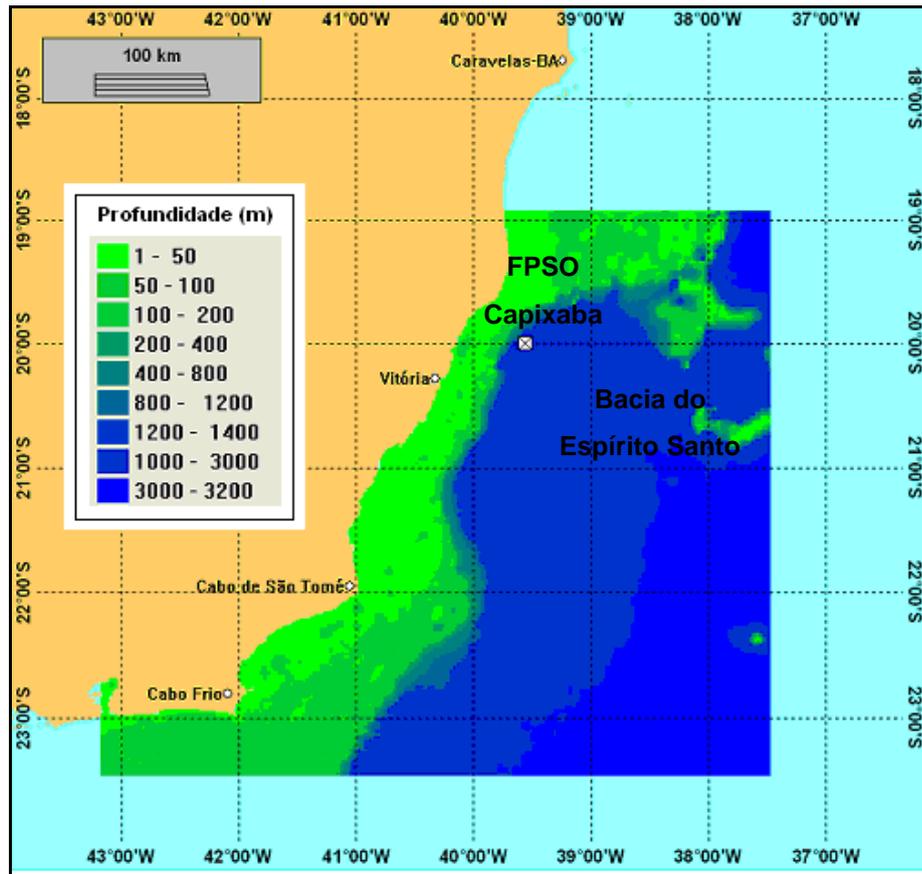


Figura 9 - O x marca a localização da FPSO Capixaba, no Campo de Golinho, Bacia do Espírito Santo. O gradiente em verde destaca os níveis batimétricos da região segundo o SeaTopo 6.2.

4.1 Clima e regime de ventos

Mudanças das condições meteorológicas no Sudeste do Brasil estão geralmente associadas à passagem, formação ou intensificação de frentes frias, sistemas característicos de médias latitudes e ocorrentes no litoral do Brasil o ano inteiro (KOUSKY, 1979; SATYAMURTY, et al., 1998, apud RODRIGUES, et al., 2004).

Segundo a classificação de Köppen (1948) o clima no litoral capixaba é do tipo pseudo-equatorial, com chuvas tropicais de verão, sendo o outono e o inverno caracterizados como as estações mais secas. O Estado do Espírito Santo apresenta verão chuvoso em decorrência da atuação do Sistema Tropical Atlântico que atua o ano todo apresentando certas instabilidades no período do verão (ALBINO, et al., 2004).

A temperatura média anual na Bacia do Espírito Santo é de aproximadamente 22°C, apresentando variações da média das máximas entre 28 e 30°C, enquanto as mínimas se apresentam em torno de 15°C, após a passagem de uma frente fria subpolar (Nimer, 1989).

O sistema de alta pressão localizado em torno de 30° S no Atlântico Sul, apresenta grande relevância para a situação climática da região Sul Americana. Sabe-se que a localização deste sistema de alta pressão varia sazonalmente apresentando-se ora mais próximo ora mais afastado do continente, fato que associado à oscilação periódica da Zona de Convergência Intertropical acarreta modificações diretas na magnitude e direção dos ventos que atuam sobre o Espírito Santo e adjacências (CASTRO; MIRANDA, 1998).

De maneira geral, verifica-se a predominância de ventos do quadrante leste ao longo do ano com intensidades média maiores no período do verão em detrimento das observadas durante o inverno (BASTOS; FERREIRA, 2005).

Dados de vento de re-análise do NCEP/NCAR (Centro Nacional para Predições Ambientais e Centro Nacional para Pesquisas Atmosféricas - *National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research*) mostraram que, num conjunto de dados referentes ao período compreendido entre os anos de 1979 e 1992, nos meses de Janeiro, Fevereiro e Março há predomínio de ventos de nordeste na costa capixaba (Estudo de Impacto Ambiental, 2005).

Os ventos que sopram nos meses de Janeiro são os que apresentam maiores intensidades, com velocidades em torno de 4,5 m.s⁻¹ no entorno da cidade de Vitória, além de ventos de leste-sudeste, podendo atingir o máximo de 6 m.s⁻¹. Em Fevereiro há redução das intensidades dos ventos, ficando com uma velocidade aproximada a 4 m.s⁻¹ na área de estudo deste trabalho, sendo que em Março as velocidades dos ventos variam entre 2,5 e 4,5 m.s⁻¹ (Estudo de Impacto Ambiental, 2005).

4.2 Hidrodinâmica

Sabe-se que a circulação oceânica superficial é forçada pela atuação dos ventos que transferem seu *momentum* para as camadas superficiais da água. Neste contexto, admite-se que a circulação superficial do Atlântico Sul é forçada pela incidência de ventos alísios de sudeste e dos ventos de oeste, que sopram a maior parte do ano, determinando a manutenção do Giro Subtropical (anticiclônico) de correntes marinhas superficiais, como mostrado na Figura 10 (PETERSON; STRAMMA, 1991 apud SILVEIRA, et al., 2000).

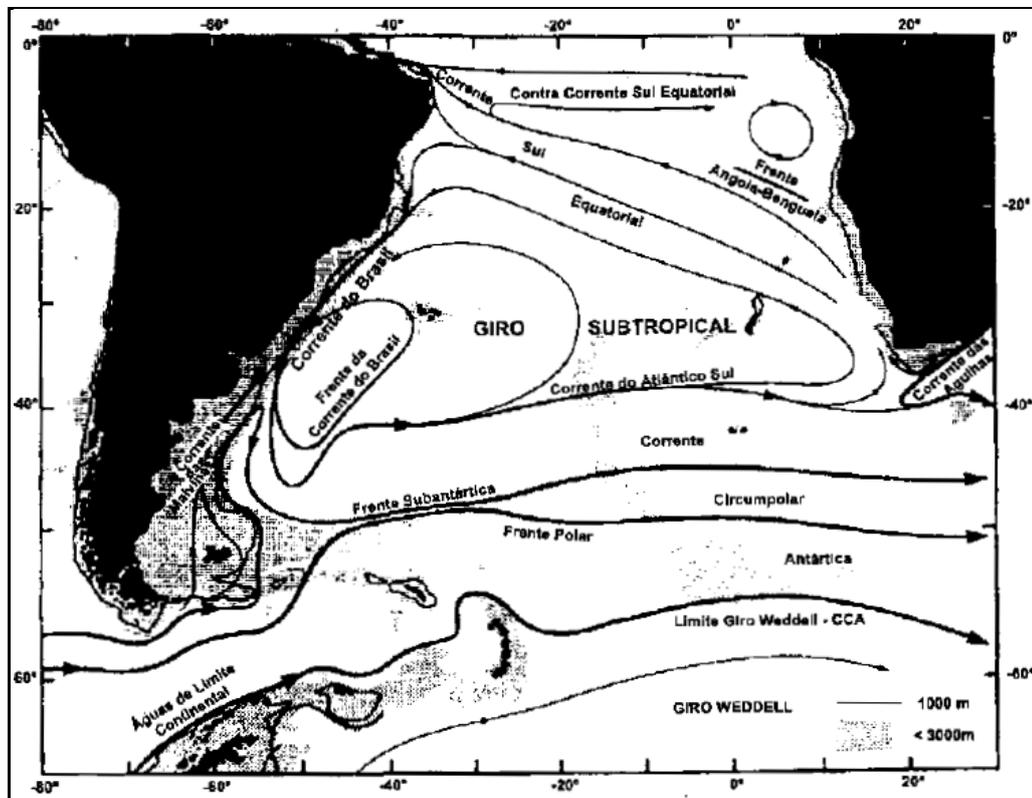


Figura 10 - Representação do Giro Subtropical do Atlântico Sul.

Fonte: Modificado de PETERSON; STRAMMA, 1991 (apud SILVEIRA, et al., 2000).

Considerando as camadas superficiais até o limite superior da termoclina, a Corrente do Brasil (CB), originada pela bifurcação do ramo sul da Corrente Sul Equatorial (CSE), flui na direção sul bordejando o continente Sul Americano até a região da Convergência Subtropical. Por fluir ao longo da costa brasileira a CB é identificada como uma Corrente de Contorno Oeste (CCO) que está associada ao Giro Subtropical do Atlântico Sul (SILVEIRA, et al., 2000).

As águas da Plataforma Continental Brasileira (PCB) são formadas pela mistura de três diferentes massas d'água, sendo elas: Água Tropical, caracteristicamente quente e salina, transportada para sul pela camada superficial da CB, Água Central do Atlântico Sul fria e de baixa salinidade, encontrada abaixo da Água Tropical e, finalmente, a Água Costeira, caracterizada pela baixa salinidade e altas temperaturas (CASTRO; MIRANDA, 1998).

O padrão do sistema da CB varia acentuadamente com a latitude. Dependendo da localidade, a CB pode afastar-se da quebra de plataforma e se inclinar em seus núcleos superior e inferior, alinhando-se ou desalinhando em função da isóbata de ajuste que garanta a conservação da sua vorticidade potencial (SCHMID, et al., 2007).

Geomorfologicamente, a PCB (Figura 11) é estreita em sua maior parte. Sua topografia é intercalada por bancos que se estendem até as proximidades da superfície com declividades acentuadas (ZEMBRUSKI, 1979 apud SOUTELINO, 2008). A tais características geomorfológicas podem ser relacionados o meandramento da CB. Segundo Schmid, et. al. (2007) devido ao meandramento da CB, os campos de massa e velocidade se encontram em situação de equilíbrio quase geostrófico. Sabe-se que devido ao seu fluxo para sul quando registrados grandes meandros, a CB pode se fechar em estruturas ciclônicas, formando os vórtices (STRAMMA; IKEDA; PETERSEN, 1990; SILVEIRA, et. al., 2000; SOUTELINO, 2008).

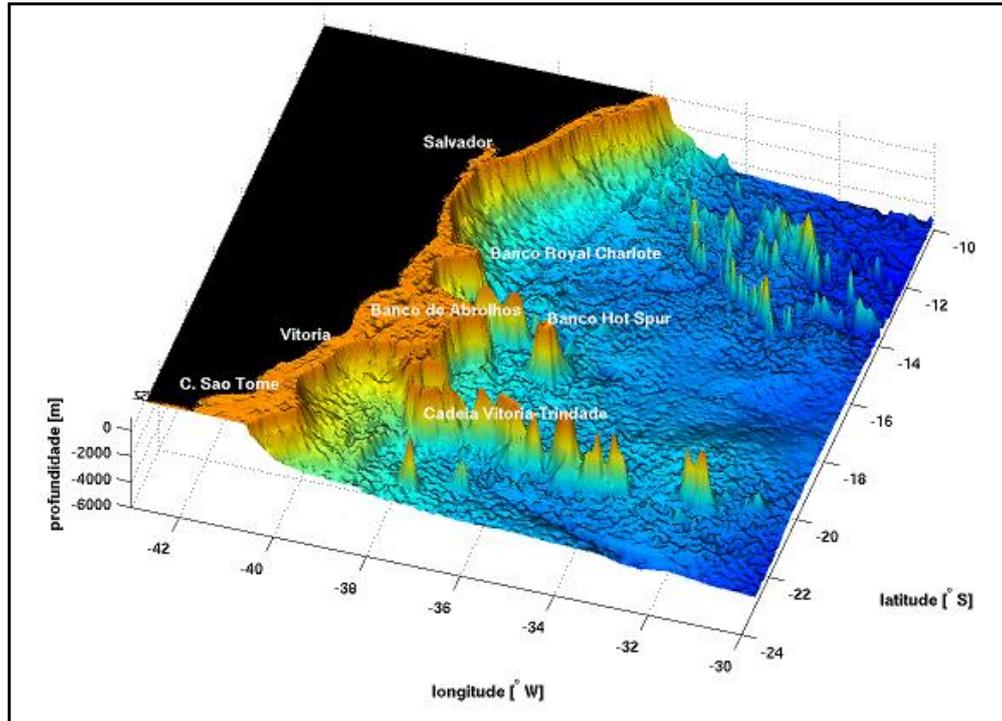


Figura 11 – Batimetria da margem continental leste adjacente à costa leste brasileira extraída da base de dados ETOPO2.

Fonte: SOUTELINO (2008).

Inserido neste contexto, uma feição de grande importância associada à Corrente do Brasil, cuja velocidade média varia entre 30 a $50 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$, é o Vórtice de Vitória (VV), (COSTA, 2007). Investigado por Gaeta, et al. (1999) e Schmid, et al.(1995), o VV é traduzido como uma feição de ocorrência não permanente, cuja estrutura está associada as peculiaridades da topografia e ao fluxo da CB, o que apresenta significativo efeito sobre a biota local.

Estudos de modelagem numérica mostram que há grande influência da profundidade nas elevações de maré na plataforma continental. Informações da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) referentes ao ano de 2004, classificam o litoral do Espírito Santo como de micromarés (menores que 2 m), devido a variações de amplitude entre $1,4$ e $1,6 \text{ m}$ (LEMOS, 2006).

Em relação à incidência de ondas, Albino (1999) afirma que o padrão de ventos atuantes na costa espírito-santense ocasiona a incidência de ondas provenientes dos quadrantes nordeste/leste e sudeste/leste, havendo predominância das ondas do primeiro quadrante. A altura significativa das ondas não ultrapassa $1,5 \text{ m}$, sendo

as mais freqüentes as que apresentam alturas correspondentes a 0,9 e 0,6m. Com relação aos períodos amostrados, os mais freqüentemente encontrados variam de 5 a 6,5s, não sendo registrados períodos superiores a 9,5s.

5 METODOLOGIA

5.1 Material

Desenvolvido pela SINTEF, o modelo intitulado *Oill Spil Contingency and Response* (OSCAR) foi utilizado para a realização de simulações sob os modos probabilístico e determinístico de dispersão das plumas de óleo liberadas no ambiente marinho a partir da unidade flutuante de exploração e estocagem de óleo FPSO Capixaba.

Para a simulação dos cenários de derramamentos, foi utilizada uma compilação de dados de vento e corrente fornecidos pela SINTEF, referentes aos meses de Janeiro, Fevereiro e Março de 1998. Os dados de velocidade dos ventos foram disponibilizados pela NOAA-CIRES e são referentes aos dados de re-análises do NCEP. Esses dados foram fornecidos numa grade de 2,5° por 2,5° (277.5 Km) a cada 6 horas, sendo posteriormente transferidos para pontos da malha computacional para que fosse feita a interpolação espacial e temporal linear considerando cada passo de tempo computacional (30 minutos).

Utilizando-se o modelo global SINMOD, desenvolvido pela SINTEF, foram simulados dados hidrodinâmicos para a costa brasileira, permitindo a composição da base hidrodinâmica para todo o ano de 1998. Bros et.al.(2005) informam que antes de se modelar o ano de 1998, para averiguação da qualidade dos dados, o modelo foi compilado e executado durante quatro meses, sendo encontradas feições e velocidades semelhantes às relatadas na literatura por Berger et al. (1999 apud BROS et.al.2005); Rowe et al.(2004 apud BROS et.al.2005) e, Tomczak e Godfrey (2002 apud BROS et.al.2005).

O óleo utilizado nas simulações numéricas estava contido no banco de dados do modelo OSCAR, sendo escolhido de acordo com suas características (27,5 °API, intermediário, tipo III) que se assemelhavam ao óleo *Maastrichtiano* explorado no Campo de Golfinhos.

5.2 Métodos

Na Figura 12 é mostrada a seqüência dos cenários simulados nas diferentes etapas de desenvolvimento deste trabalho.

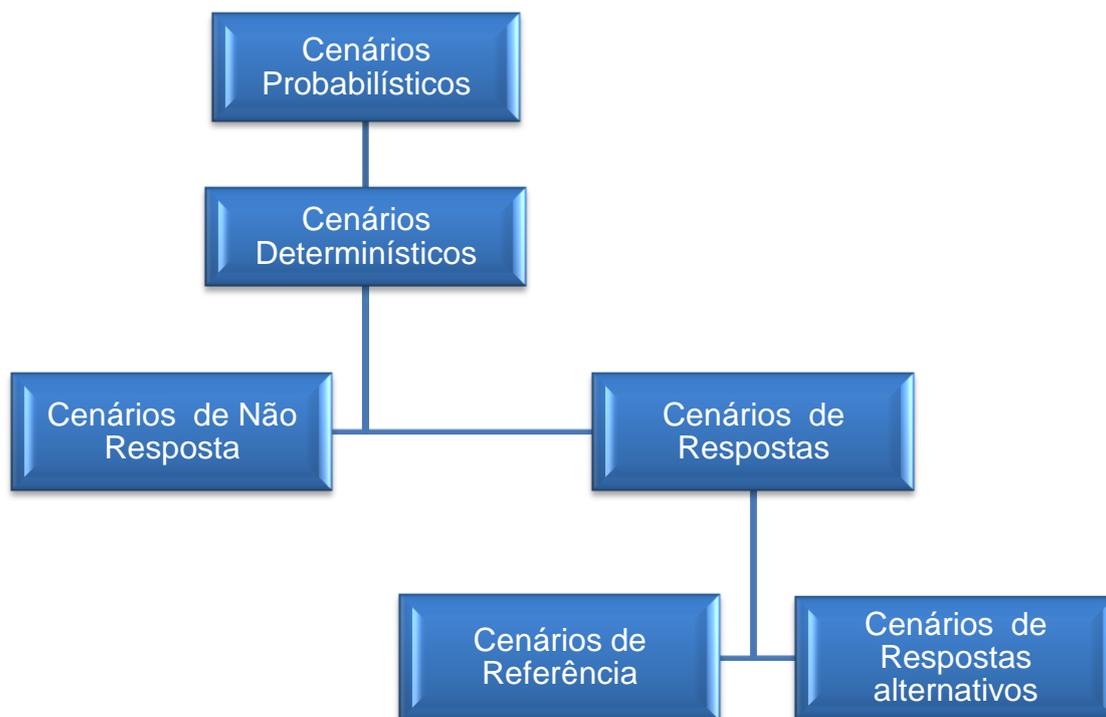


Figura 12 - Fluxograma de realização das simulações dos cenários que foram considerados.

Fonte: Modificado de PIMENTEL (2007).

Os volumes adotados para a realização das simulações foram definidos, primariamente, segundo a Resolução CONAMA 398 de junho de 2008:

- a. Pequeno: 8m^3
- b. Médio: 200m^3
- c. Pior caso

O volume de pior caso é referente ao volume total potencialmente liberado no ambiente quando há perda do controle da unidade de produção durante quatro dias, sendo assim, tendo o FPSO Capixaba capacidade de armazenamento estimada em 350.000m^3 de petróleo, este foi determinado como o volume de pior caso para a simulação dos cenários.

Os resultados de algumas simulações prévias que consideraram as descargas pequenas e médias do CONAMA para o local de derramamento, apontaram quantidades insignificantes de óleo chegando à região costeira. Este fato prejudicaria a averiguação da eficácia das estratégias de resposta elaboradas, uma vez que volumes pequenos, segundo os resultados supracitados, são efetivamente retirados do ambiente. Desta forma, mantidos os demais parâmetros das simulações (especificados no Tópico 5.2.1) passou a se considerar os volumes dos derramamentos iguais a 350.000 m^3 e 35.000 m^3 , sendo este último volume corresponde a um valor intermediário entre o volume de pior caso e o volume de uma descarga média (200 m^3) definida na legislação. Logo, foi realizada uma flexibilização da legislação.

Com relação aos períodos de derramamentos, inicialmente, foram consideradas a ocorrência de vazamentos instantâneos e contínuos. Para o primeiro tipo de derrame mencionado, considerou-se que o volume total do derramamento foi liberado no ambiente marinho num período de 24 horas. Em contrapartida, para as descargas contínuas, foi considerado que estas se deram ao longo de 7, 15 e 30 dias.

Sob o modo probabilístico, para cada volume e período de derramamento (1, 7, 15 e 30 dias) foi realizado um conjunto de 90 simulações referentes ao período do verão de 1998. Tais simulações subsidiaram a determinação dos cenários de pior caso, ou seja, cenário que dentre as 90 simulações realizadas, resultou no menor tempo de chegada do óleo à linha de costa.

Depois de determinados os cenários de pior caso a partir das simulações probabilísticas realizadas, passou-se a fase de simulação dos cenários determinísticos, realizados com base nas datas de início dos cenários de pior caso.

Ao final haviam sido simulados quatro cenários de derramamentos para cada um dos volumes, num total de 8 simulações determinísticas. Avaliações comparativas dos resultados dessas simulações permitiram a determinação dos cenários críticos para os vazamentos de 350.000 m^3 e 35.000 m^3 de petróleo.

O cenário crítico foi definido como aquele que apresentou maior acúmulo de óleo na costa dentre as simulações dos cenários de pior caso realizadas para um mesmo volume de derramamento, semelhante ao cenário de não resposta, foi utilizado como critério básico para avaliação da eficácia das estratégias de resposta posteriormente elaboradas.

Os cenários de não resposta apresentados no fluxograma (Figura 12) referem-se aos cenários em que não se considerou a intervenção antrópica no comportamento da pluma livre de óleo liberada no ambiente. Diferentemente, os cenários de resposta foram aqueles simulados com a utilização de estruturas de contenção e remoção do óleo presente na superfície marinha.

5.2.1 Parâmetros das simulações

5.2.1.1 Parâmetros dos derramamentos

A Tabela 1 contém os dados técnicos da localização geográfica e profundidade do FPSO Capixaba. O navio plataforma cuja capacidade de produção de óleo é estimada em 100mil barris por dia, representa o ponto de origem das liberações de petróleo no mar.

TABELA 1 – PARÂMETROS DOS DERRAMAMENTOS

Parâmetros dos derramamentos	Valores
Latitude	20°0'7,8"S
Longitude	39°33'32"W
Profundidade	1.500m

5.2.1.2 Características Físico-Químicas do Petróleo

O óleo utilizado nas simulações numéricas é classificado como intermediário segundo a Organização Nacional da Indústria do Petróleo (ONIP). Suas principais características estão informadas na Tabela 2, e sua composição apresentada na Figura 13.

TABELA 2 – CARACTERÍSTICAS DO ÓLEO UTILIZADO

Característica do óleo	Valores
°API	27,5
Densidade	0,887g.cm ⁻³
Viscosidade	17,1cP a 25°C
Conteúdo máximo de água	1%

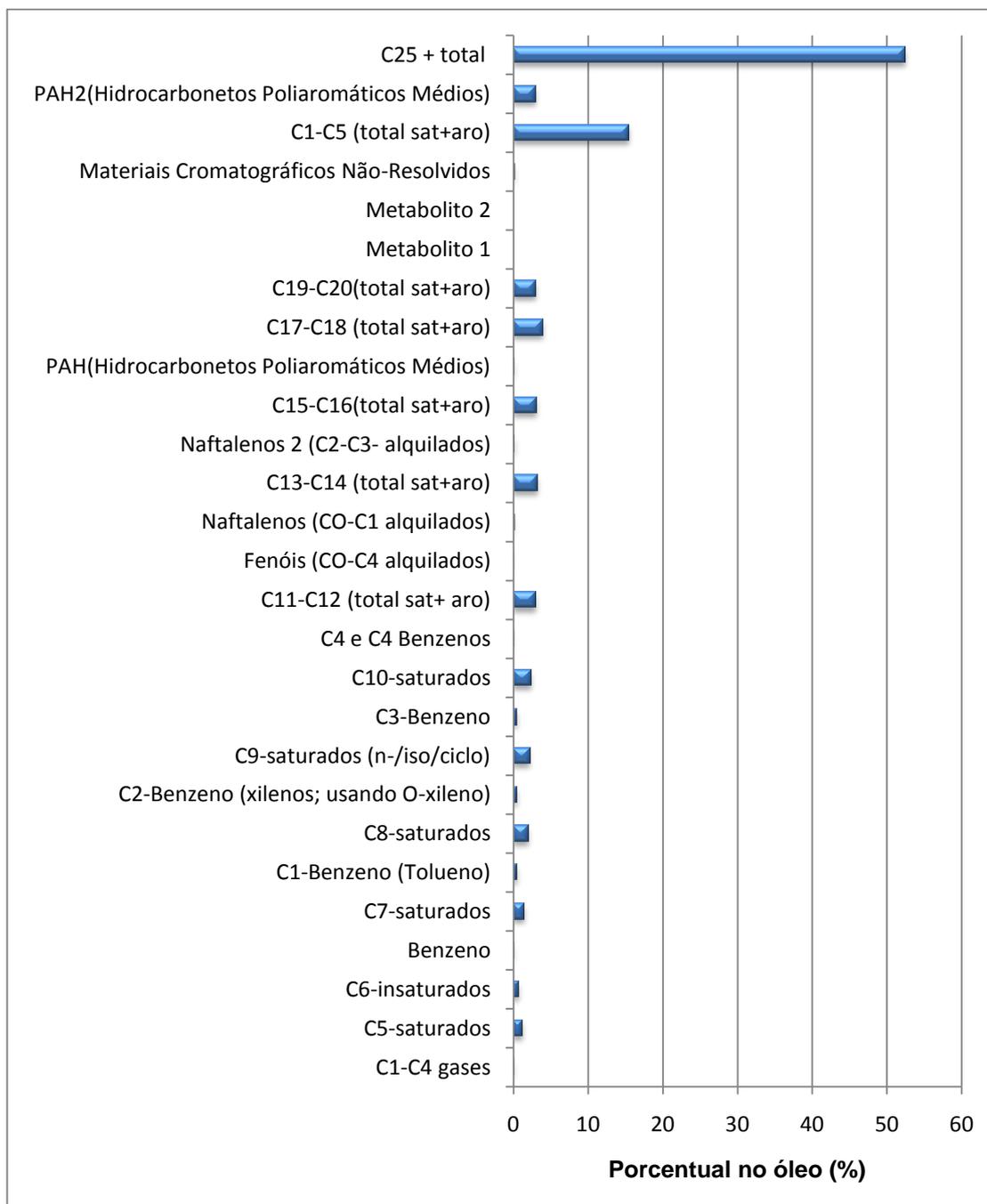


Figura 13 – Composição do óleo importado do banco de dados do modelo OSCAR utilizado nas simulações de derramamento de óleo.

5.2.1.3 Parâmetros de ajuste do modelo OSCAR

A Tabela 3 especifica os parâmetros ambientais, do modelo e da grade ajustados para as simulações.

TABELA 3 – VALORES AJUSTADOS DOS PARÂMETROS AMBIENTAIS, DO MODELO E DA GRADE DE SIMULAÇÃO

Parâmetros ambientais	
Temperatura da superfície marinha	25°C
Temperatura do ar	25°C
Parâmetros do modelo	
Passo de tempo	10 mim
Fator de vento	3.5%
Número máximo de partículas dissolvidas	1500
Número máximo de partículas em superfície	1500
Parâmetros da grade	
Número de células de grade em X	400
Número de células de grade em Y	400
ΔX	3,308Km
ΔY	3,115Km
Número de camadas verticais	10

Em relação aos parâmetros ambientais, as Figuras 14 e 15 mostram, respectivamente, os padrões de circulação atmosférica e oceânica superficial, referentes ao verão de 1998, utilizadas neste trabalho.

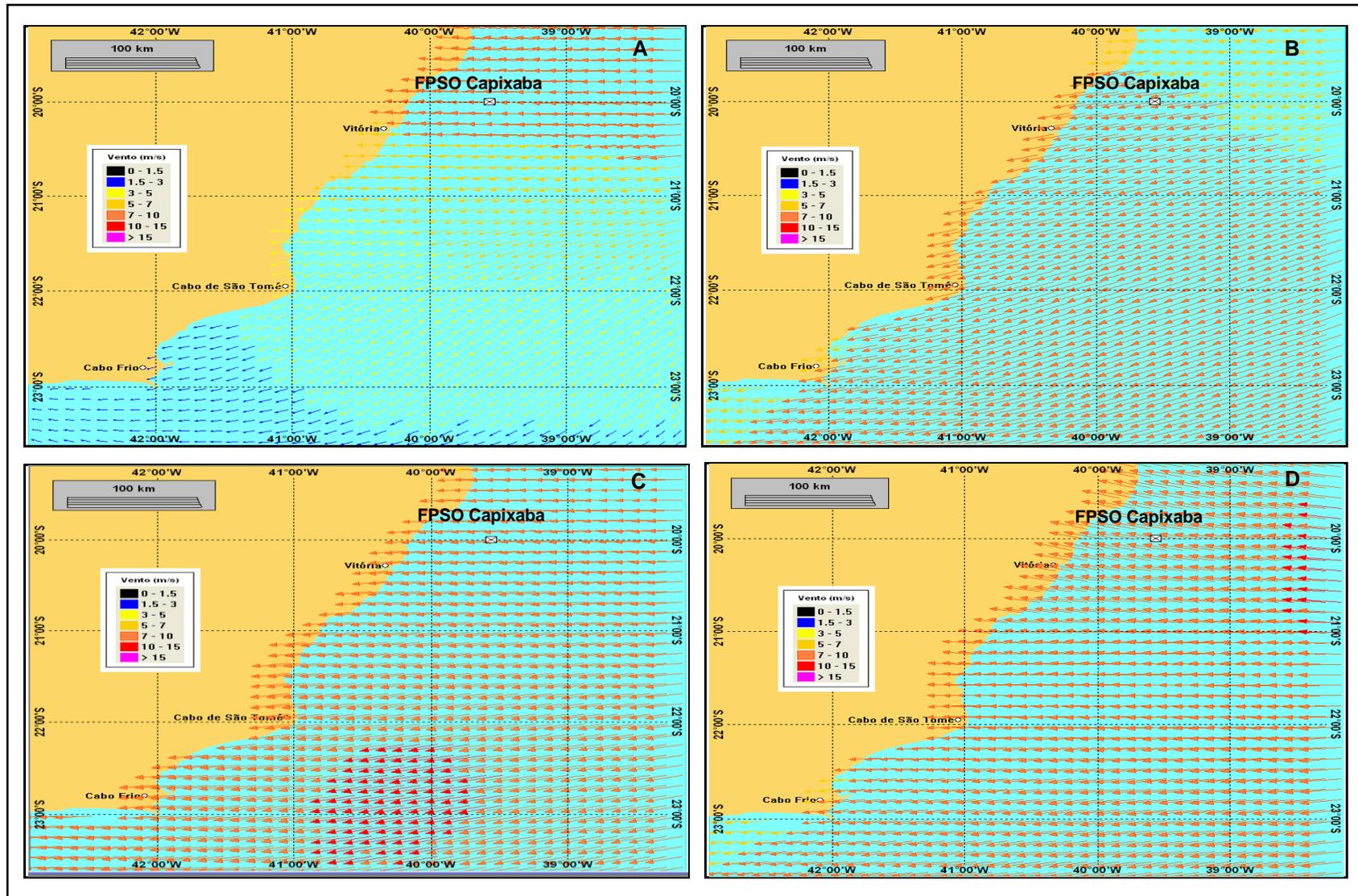


Figura 14 – Padrão de circulação atmosférica para o período do verão considerando os dias 01/01/1998 (A), 16/01/1998 (B), 01/02/1998 (C) e 16/02/1998 (D). Esta figura vem mostrando variações na magnitude e direção dos ventos incidentes sobre a costa do Espírito Santo, para exemplificação das variações do campo atmosférico da região.

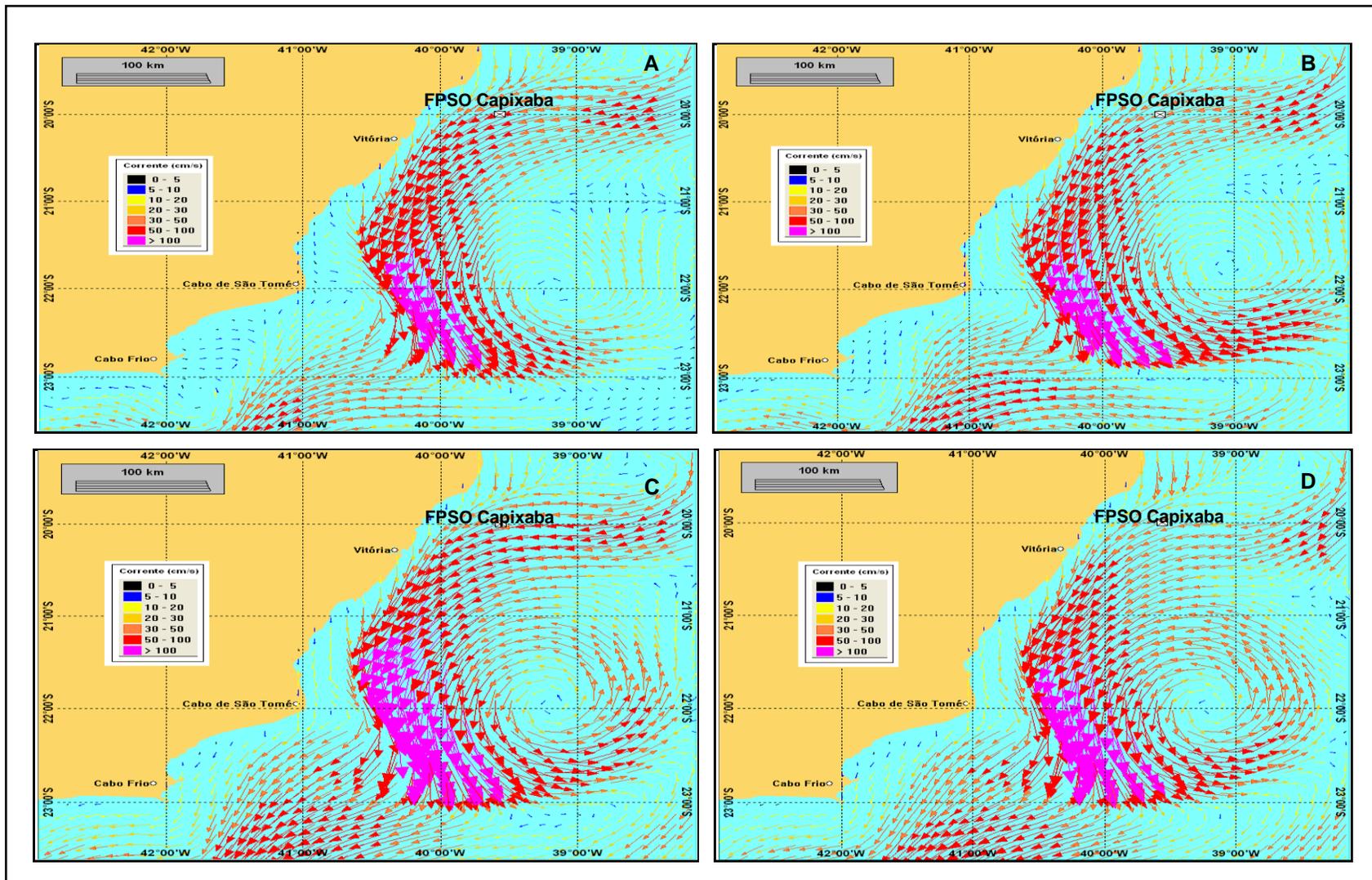


Figura 15 – Padrão de circulação superficial para o período do verão considerando os dias 01/01/1998 (A), 16/01/1998 (B), 01/02/1998 (C) e 16/02/1998 (D). Na seqüência desta figura pode ser observado o processo de formação de um vórtice, exemplificando as variações ocorrentes no campo hidrodinâmico da região.

5.2.2 Cenários Simulados

5.2.2.1 Cenários Probabilísticos

Conforme descrito anteriormente os cenários envolveram o vazamento de 350.000m³ e 35.000m³ de petróleo durante os períodos de 1, 7, 15 e 30 dias.

5.2.2.2 Cenários Determinísticos

5.2.2.2.1 Cenários de Não Resposta (Cen NR)

Correspondem aos cenários que apresentaram maior volume de óleo sendo acumulado na costa ao final de 30 dias de simulação, para os dois diferentes volumes de derramamentos considerados neste trabalho. Estes serviram para que fossem feitas avaliações da eficácia das estratégias de resposta adotadas posteriormente.

5.2.2.2.2 Cenários de Resposta

5.2.2.2.2.1 Cenário de Referência (Cen Ref)

O cenário de referência é aquele determinado pela Resolução CONAMA 398/08. Nele foi considerada a utilização de barreiras de contenção, recolhedores e embarcações, que em conjunto foram denominadas de **formações** (Figura 16).

Na Tabela 4 estão contidas as especificações dos equipamentos de resposta e das embarcações consideradas para a elaboração dos Planos de Emergência Individuais (PEI's). Tais dados foram extraídos do trabalho de Pimentel (2007), sendo referentes a informações concedidas pela empresa Hidroclean Proteção Ambiental.

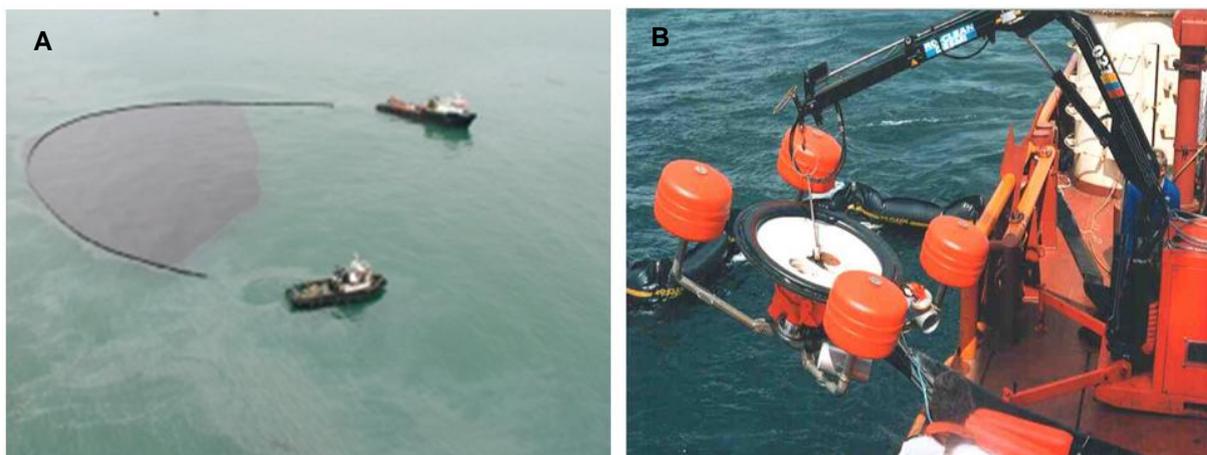


Figura 16 – Disposição de uma barreira de contenção em mar aberto feita por barcos (A). E a imagem do “skimmer” Tarantula (B), recolhedor utilizado no recolhimento de petróleo disposto sobre a superfície marinha.

Fonte: ITOPF (2009); Hidroclean (2009).

TABELA 4 – CARACTERÍSTICAS DAS BARREIRAS DE CONTENÇÃO, RECOLHEDORES E EMBARCAÇÕES QUE FORAM UTILIZADAS PARA ELABORAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE RESPOSTA.

Estruturas	Características	Valores
Barreira de contenção	Largura de varredura	100m
	Velocidade operacional	0,77m.s ⁻¹
	Limite da onda	4m
Recolhedor	Taxa de recolhimento	125m ³ .h ⁻¹
	Viscosidade limite	40.000cP
Embarcação	Capacidade de armazenamento	600m ³
	Velocidade	5,14m.s ⁻¹

Em virtude de terem sido considerados grandes volumes das descargas de óleo (350.000m³ e 35.000m³), as estratégias de resposta foram planejadas de maneira escalonada, ou seja, foram consideradas 3 diferentes etapas para o seu desenvolvimento, sendo respeitados em cada etapa os valores da Capacidade Efetiva Diária de Recolhimento (CEDRO) estabelecida na Resolução CONAMA 398/08.

O CONAMA determina em sua resolução que para situações de descarga de pior caso em plataformas *offshore*, devem ser considerados os cálculos da Fórmula 3 para o estabelecimento da CEDRO.

$$CEDRO = 24.C_N \cdot \mu \quad (3)$$

Onde,

C_N = Capacidade nominal;

μ = Fator de eficácia, onde $\mu_{máximo} = 0,2$

Desta forma, na Tabela 5 está especificada a CEDRO utilizada neste trabalho no estabelecimento dos PEI's para os dois volumes de derramamentos considerados.

TABELA 5 – CEDRO SOLICITADA PARA DETERMINADOS PERÍODOS VIGENTES APÓS A OCORRÊNCIA DO DERRAMAMENTO DE ÓLEO, UTILIZADO EM TODOS OS CENÁRIOS DE RESPOSTA SIMULADOS

Tempo máximo para disponibilização dos recursos (horas)	CEDRO (m ³ .dia ⁻¹)
12	1.600
36	3.200
60	6.400

Tendo-se por base a CEDRO especificada na Tabela 5 e a capacidade máxima de armazenamento das embarcações, foi determinado o número de formações necessárias para se fazer cumprir as exigências do CONAMA em cada um dos três estágios de ação (Tabela 6).

TABELA 6 – CAPACIDADE DE RECOLHIMENTO DISPONÍVEL PARA OS TRÊS DIFERENTES ESTÁGIOS DE AÇÃO

Estágio de ação	Número de formações	Capacidade de recolhimento (m ³ .dia ⁻¹)
I	3	1800
II	6	3600
III	11	6600

Para determinação dos locais de disposição das estruturas de respostas considerando os tempos máximos de mobilização determinados na legislação (12, 36 e 60h) e a velocidade das embarcações, foram realizados os cálculos da Fórmula 4.

$$t_1 = \frac{D_1}{V} \quad (4)$$

Onde,

t_1 = tempo de mobilização. Por tempo de mobilização se entende o espaço de tempo necessário para que as formações estivessem aptas para a operação. Para este estudo o tempo considerado foi de 6 horas;

D_1 = distância da cidade de Vitória (ES) ao ponto de localização das formações.

Vitória foi considerada a base operacional de toda a atividade de resposta;

V = velocidade da embarcação, considerada igual a $5,14 \text{ m.s}^{-1}$.

Iniciada a operações de resposta, o modelo solicita que seja determinado o tempo que será despendido pelas embarcações para irem de seu local de operação até a cidade de Vitória (ES) para que seja efetuado o descarregamento do óleo removido da superfície. A Fórmula 5 foi utilizada para efetuação dos cálculos desses dois intervalos de tempo.

$$t_2 = (D_2 / V) * 2 \quad (5)$$

Onde,

t_2 = tempo despendido em viagens para que fosse efetuado o descarregamento do material recolhido. Considerou o tempo de ida a Vitória e retorno ao local de disposição de combate inicial;

D_2 = distância percorrida pela embarcação do seu ponto de localização a cidade de Vitória, ES;

V = velocidade da embarcação.

5.2.2.2.2 Cenário de Referência associado ao remanejamento das formações (Cen Ref rem)

Para a elaboração deste cenário de resposta foram mantidas todas as especificações utilizadas para a simulação do *Cen Ref*, efetuando-se apenas o remanejamento das formações.

As formações que estavam localizadas em pontos próximos ao FPSO Capixaba foram realocadas depois que não havia mais óleo presente na área associada à atuação do sistema barreira + recolhedor. A realocação foi realizada para locais onde eram encontradas grandes concentrações de petróleo após ocorrência do vazamento total do volume considerado no derramamento.

No remanejamento das formações, foi determinado o tempo gasto por cada embarcação para sair da sua coordenada inicial de atuação e alcançar seu ponto final de recolhimento. A Fórmula 6 mostra o cálculo executado para a realização deste procedimento.

$$t_3 = \frac{D_3}{V} \quad (6)$$

Onde,

t_3 = tempo despendido na viagem de remanejamento da formação;

D_3 = distância do ponto inicial ao final de localização da formação;

V = velocidade da embarcação.

O processo de remanejamento das formações está ilustrado na Figura 17.

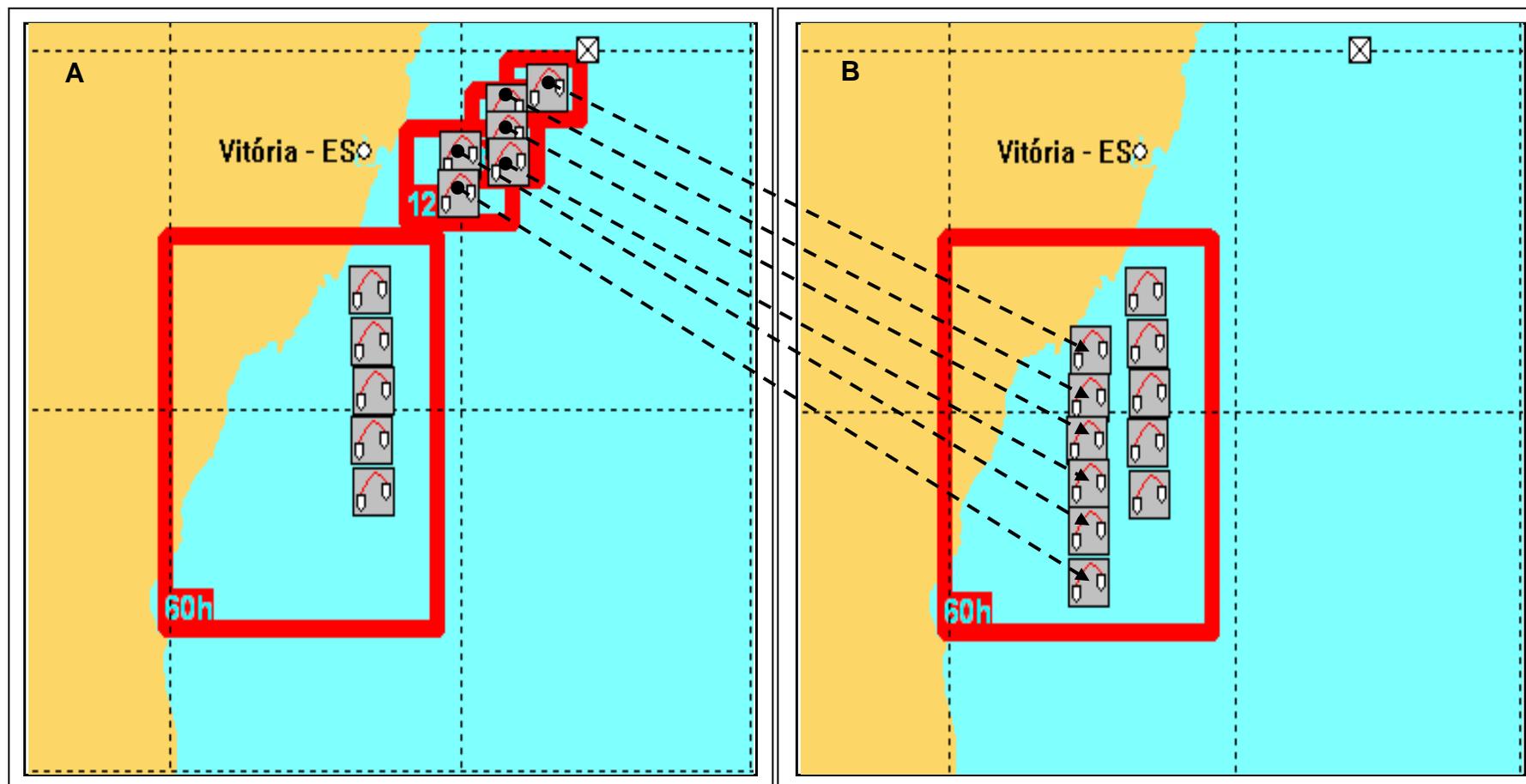


Figura 17 – Ilustração do procedimento de remanejamento das formações. Em **A** tem-se a disposição inicial das formações (Cen Ref), e em **B**, a disposição final das formações após terem sido efetuados os remanejamentos (Cen Ref rem).

5.2.2.2.3 Cenário de Referência com aumento de 50% CEDRO (Cen Ref + 50%)

Na simulação deste cenário de resposta, foi estabelecido o aumento de 50% da capacidade de recolhimento das formações em relação às capacidades de recolhimento simuladas para o *Cen Ref*, ao longo das três diferentes etapas de respostas (Tabela 7).

Para este caso foram mantidos os tempos máximos para a disponibilização das estruturas no mar determinadas na Resolução CONAMA 398/08.

TABELA 7 – CAPACIDADE DE RECOLHIMENTO DISPONIBILIZADAS PARA OS INTERVALOS DE TEMPO DETERMINADOS NA RESOLUÇÃO CONAMA 398/08 PARA AS TRÊS DIFERENTES ETAPAS DO CONTINGENCIAMENTO CONSIDERADAS NESTE ESTUDO

Estágio de ação	Número de formações	Capacidade de recolhimento resultante (m³/dia)
I	5	2700
II	9	5400
III	17	9900

5.2.2.2.4 Cenário de Referência com aumento de 50% CEDRO e efetuação do remanejamento das formações (Cen Ref + 50% rem)

Neste cenário foram mantidas as particularidades *Cen Ref + 50%*, efetuando-se apenas o remanejamento das estruturas, conforme realizado no *Cen Ref rem* (Tópico 5.2.2.2.2).

A Figura 18 ilustra os remanejamentos efetuados neste cenário de resposta.

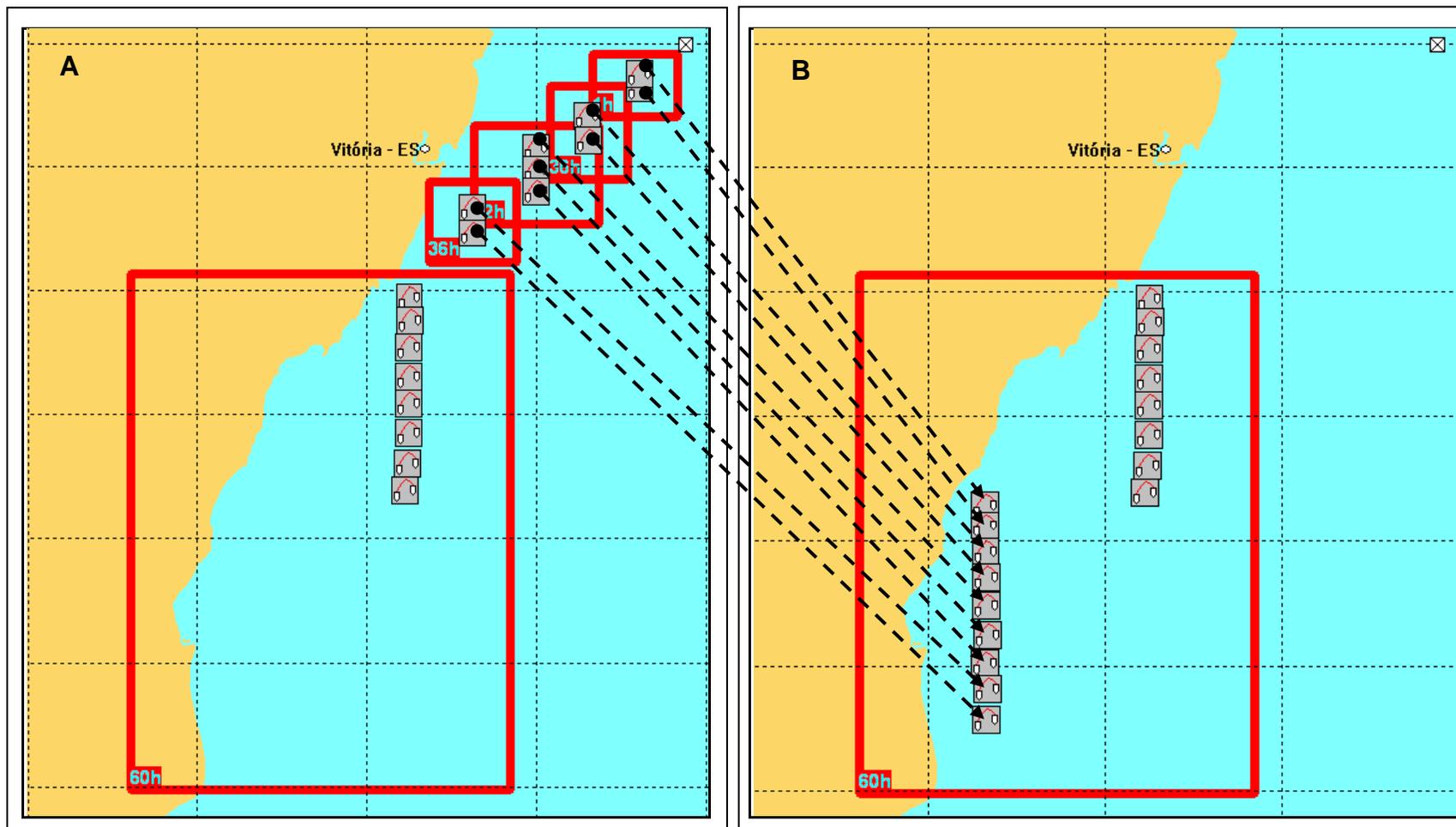


Figura 18 – Ilustração do procedimento de remanejamento das formações. Em **A** tem-se a disposição inicial das formações (Cen Ref + 50%), e em **B**, a disposição final das formações após terem sido efetuados os remanejamento (Cen Ref + 50% rem).

6 RESULTADOS

6.1 Cenários probabilísticos

A Figura 19 mostra o padrão geral da probabilidade de distribuição do petróleo sobre a superfície marinha considerando os vazamentos de 350.000m^3 e 35.000m^3 de óleo, respectivamente.

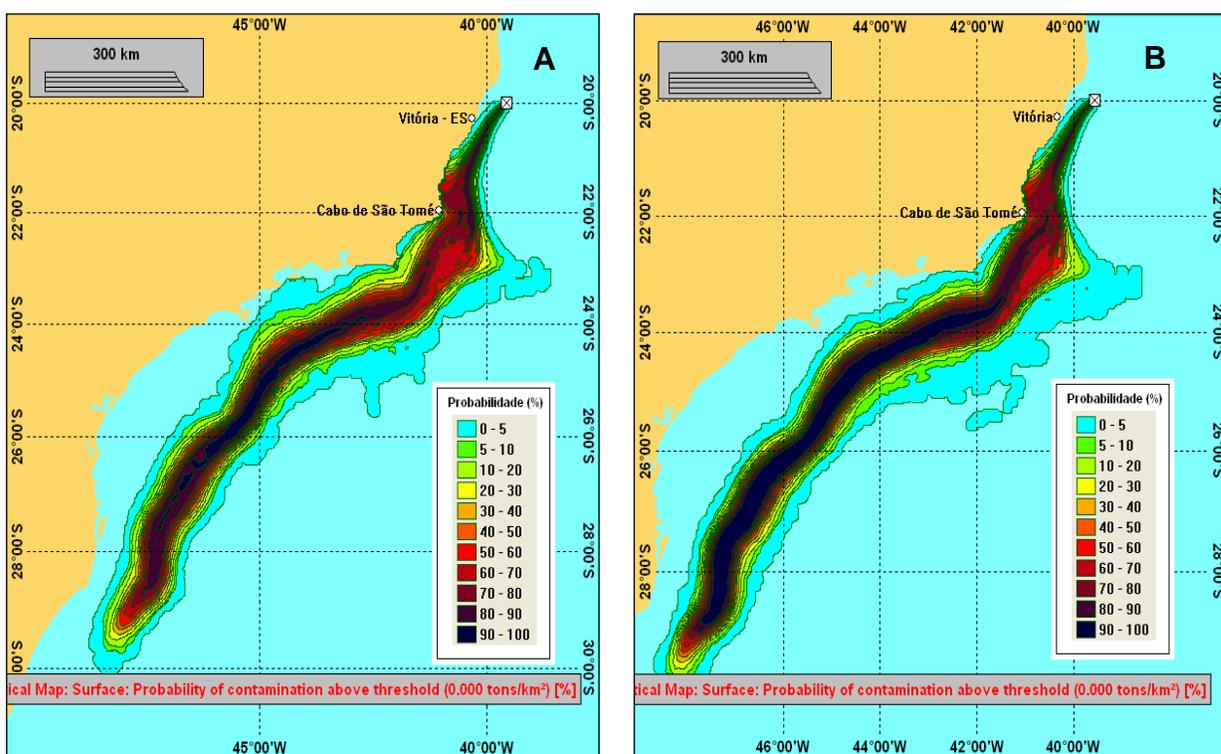


Figura 19 – Mapas probabilísticos mostrando a padrão geral da distribuição do petróleo derramado sobre a superfície marinha considerando a ocorrência de vazamentos de 350.000 m^3 (A) e 35.000 m^3 (B) de petróleo durante 1 dia. Este padrão de espalhamento foi o mesmo observado para os cenários que consideraram os vazamentos dos volumes supracitados ocorrendo ao longo de 7, 15 e 30 dias.

Considerando os quatro diferentes períodos de derramamentos, para que se pudesse determinar a data de início do cenário de pior caso – cenário no qual o óleo alcançava a região costeira no menor intervalo de tempo transcorrido após o início do derrame - foram realizadas simulações sob o modo probabilístico que permitiram a obtenção das datas especificadas na Tabela 8, a partir da simulação de um conjunto de 90 simulações.

TABELA 8 – ESPECIFICAÇÃO DAS VAZÕES, DATAS E HORAS DE INÍCIO DOS CENÁRIOS DE PIOR CASO DADOS OS DERRAMAMENTOS DE 350.000 m³ E 35.000 m³ DE PETRÓLEO OBTIDOS ATRAVÉS DE SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS

	Período de derramamento (Dias)	Vazão (m³.h⁻¹)	Data (D/M/A)	Hora (h/m/s)
350.000 m³	1	14583,3	14/02/1998	13:00:00
	7	2083,3	02/03/1998	01:00:00
	15	972,2	16/02/1998	11:00:00
	30	486,1	02/03/1998	01:00:00
35.000m³	1	1458,3	02/03/1998	01:00:00
	7	208,3	02/03/1998	01:00:00
	15	97,2	26/01/1998	15:00:00
	30	48,6	26/01/1998	16:00:00

6.2 Cenários determinísticos

6.2.1 Determinação dos cenários críticos de verão

Uma vez determinadas as datas de início dos cenários de pior caso (Tabela 8), foram realizadas simulações determinísticas. Ao final de cada simulação foram obtidos os percentuais da destinação final do petróleo liberado no mar (ou, os percentuais do balanço de massa) (Tabela 9).

TABELA 9 – PERCENTUAL DE DESTINAÇÃO FINAL DO ÓLEO PARA OS CENÁRIOS DE NÃO RESPOSTA CONSIDERANDO O VAZAMENTO DE 350.000m³ E 35.000m³ DE PETRÓLEO DURANTE 1, 7, 15 E 30 DIAS.

Porcentagem do destino final do óleo (%)				
350.000 m³ de petróleo				
	1 Dia	7 Dias	15 Dias	30 Dias
Superfície	5,8	2,7	5,3	12,8
Coluna d'água	26,6	37,3	38,5	37,7
Sedimento	36,5	25,4	22,8	21,7
Atmosfera	26,1	27,7	27,1	24,6
Decaído	3,8	5,4	3,8	2,1
Costa	1,2	1,6	2,5	1,2
35.000 m³ de petróleo				
	1 Dia	7 Dias	15 Dias	30 Dias
Superfície	0,9	0,2	1,3	5,1
Coluna d'água	30,8	25,2	46,2	43,1
Sedimento	26,0	35,3	17,1	21,5
Atmosfera	32,6	27,1	28,4	25,9
Decaído	6,6	6,3	4,2	2,6
Costa	3,1	5,9	2,8	1,8

Dentre os valores percentuais de destinação final do petróleo, os maiores acúmulos do material na costa foram obtidos nas simulações onde, 350.000m³ foram liberados no ambiente marinho durante 15 dias e 35.000m³ ao longo de 7 dias. Estes compõem os cenários críticos (de maiores acúmulos de óleo na costa) dentre os cenários de pior caso. Assim sendo, ambos cenários críticos foram selecionados para que a partir de suas datas de início fossem elaboradas às estratégias de contenção e recolhimento do petróleo liberado no ambiente marinho.

6.2.1.1 DERRAMAMENTO DE 350.000 m³ DE PETRÓLEO AO LONGO DE 15 DIAS

6.2.1.1.1 Cenário de não resposta (Cen NR)

As Figuras 20 e 21 mostram o padrão de deslocamento da pluma de óleo liberada no ambiente no dia 16 de fevereiro de 1998, e o segmento da linha de costa atingido pelo petróleo derramado, respectivamente.

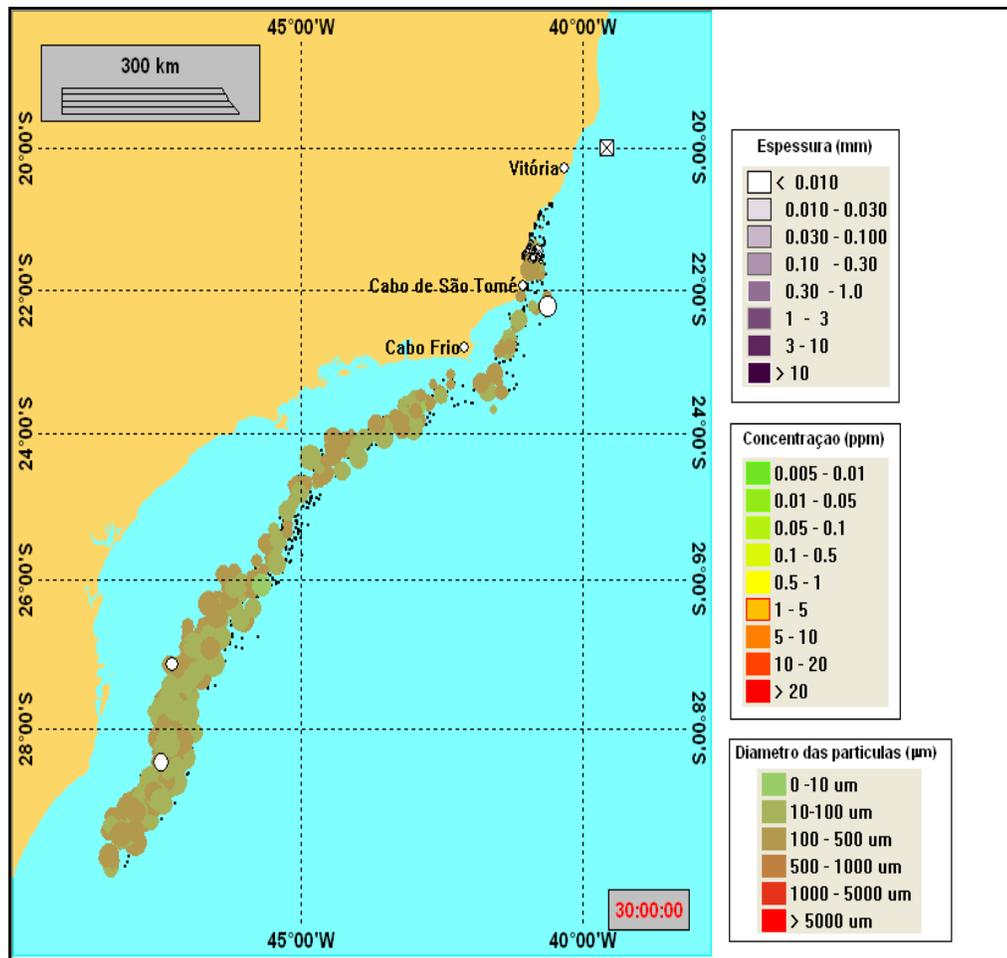


Figura 20 – Padrão de deslocamento da pluma livre de óleo liberada no ambiente no dia 16 de fevereiro de 1998. Na figura estão sobrepostas a espessura da mancha (mm), a concentração (ppm) e o diâmetro das partículas (μm).

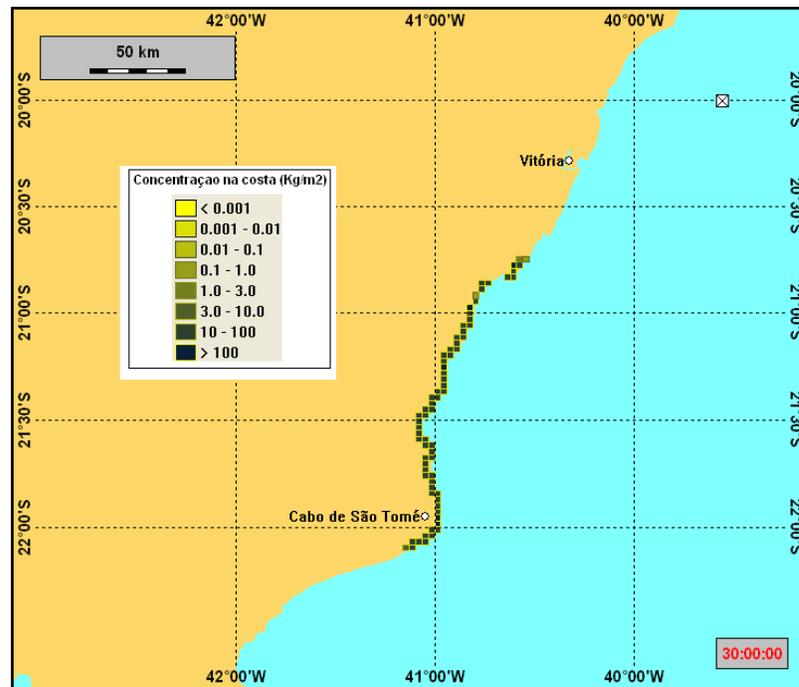


Figura 21 – Faixa costeira atingida pelo derrame de 350.000m³ petróleo liberado no ambiente marinho durante 15 dias.

A mancha atingiu uma distância aproximada de 1424,8 Km, alcançando à linha de costa (primeiro contato) cerca de seis dias após o início do derrame.

Logo após o derramamento o petróleo liberado no ambiente passou a sofrer a ação dos processos intempéricos (Figura 22).

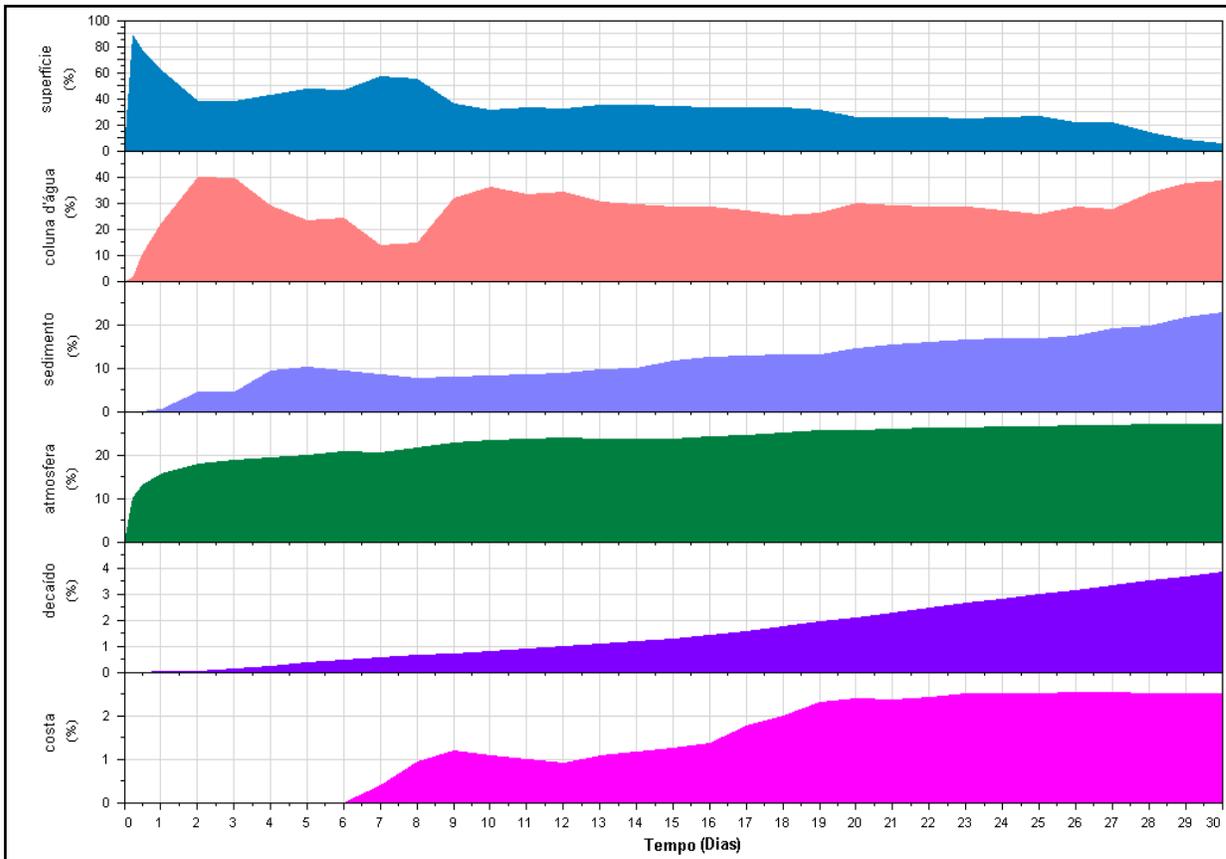


Figura 22 – Balanço de massa para 30 dias de simulação da pluma livre de óleo liberada no ambiente sem a intervenção antrópica na contenção e recolhimento do material. Observe que a escala de valores são variáveis para efeito de melhor visualização gráfica.

O gráfico indica que ao final de 30 dias de simulação uma pequena, mas considerável, parcela de petróleo foi gradualmente se acumulando na região costeira. As porcentagens de destinação final do petróleo obtidas ao final da simulação apontaram que maiores transferências de óleo se deram da superfície para a coluna d'água (38,47%), atmosfera (27,1%) e para o sedimento (22,83%), fato esse que pode acarretar sérios impactos sobre a biota local.

6.2.1.1.2 Cenários de resposta

Para cada uma das estratégias de resposta consideradas neste trabalho, foram obtidos os balanços de massa finais (percentual de destinação final do óleo) apresentados na Tabela 10. Tais dados quando comparados aos obtidos na simulação do *Cen Ref*

(Tabela 10) mostraram que, apesar do aumento gradativo dos esforços empregados na contenção e recolhimento do material – há um percentual considerável de óleo recolhido - não foram registradas reduções do volume total de petróleo que alcançava a linha de costa ao final dos 30 dias de simulação.

TABELA 10 – PERCENTUAL DE DESTINAÇÃO FINAL DO ÓLEO AO FINAL DE 30 DIAS DE SIMULAÇÃO DO CENÁRIO DE NÃO RESPOSTA E DOS CENÁRIOS DE RESPOSTA PARA O DERRAME DE 350.000m³ DE ÓLEO

Cenários simulados	Porcentagem do Destino Final (%)						
	Superfície	Coluna d'água	Sedimento	Atmosfera	Decaído	Recolhido	Costa
<i>Cen NR</i>	5,3	38,5	22,8	27,1	3,8	-	2,5
<i>Cen Ref</i>	0,3	37,1	12,4	23,5	1,3	24,8	0,8
<i>Cen Ref rem</i>	0,2	35,9	11,9	23,1	1,2	26,9	0,8
<i>Cen Ref + 50%</i>	0,5	33,6	11,0	23,1	1,2	29,8	0,8
<i>Cen Ref rem + 50%</i>	0,4	32,7	9,9	22,7	1,2	32,0	1,2

No gráfico abaixo (Figura 23), não são percebidas diminuições plausíveis da área total de abrangência do óleo quando simuladas as estratégias de resposta, pelo contrário, de maneira geral, o *Cen Ref + 50% rem* foi o que apresentou maior área de abrangência.

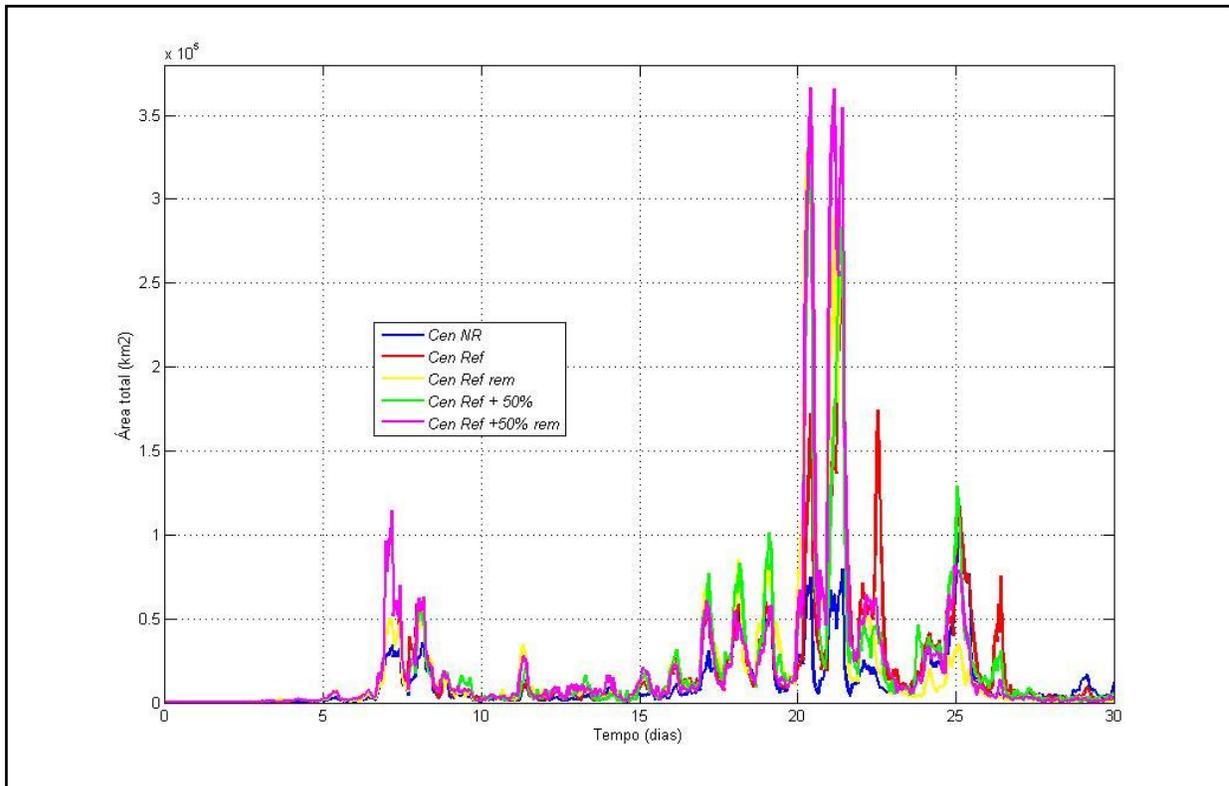


Figura 23 – Área total ocupada pela pluma de óleo ao longo de 30 dias de simulações para os cenários de não resposta e de resposta considerados no presente estudo, considerando o derramamento de 350.000m^3 de petróleo.

Percebe-se que para os cinco cenários há um padrão similar das áreas totais de abrangência do petróleo derramado. São registrados diversos picos de abrangência do óleo ao longo de 30 dias, sendo os maiores registrados entre os dias 20 e 23 das simulações. Esses aumentos foram atribuídos ao aumento da magnitude dos ventos na área de simulação que resultou em um maior espalhamento da mancha de óleo sobre a superfície marinha.

Na Figura 24 são mostradas as variações da superfície da costa exposta ao longo das simulações dos cenários de resposta. O gráfico indica que o aumento da CEDRO e a realocação das estruturas de combate foram eficientes no que tange a redução das áreas expostas ao material tóxico. O cenário que apresentou resultados mais satisfatórios foi o *Cen Ref + 50% rem* - contudo, o seu emprego numa situação real de derramamento deve ser bem avaliado, uma vez que a relação custo/benefício pode não ser tão vantajosa.

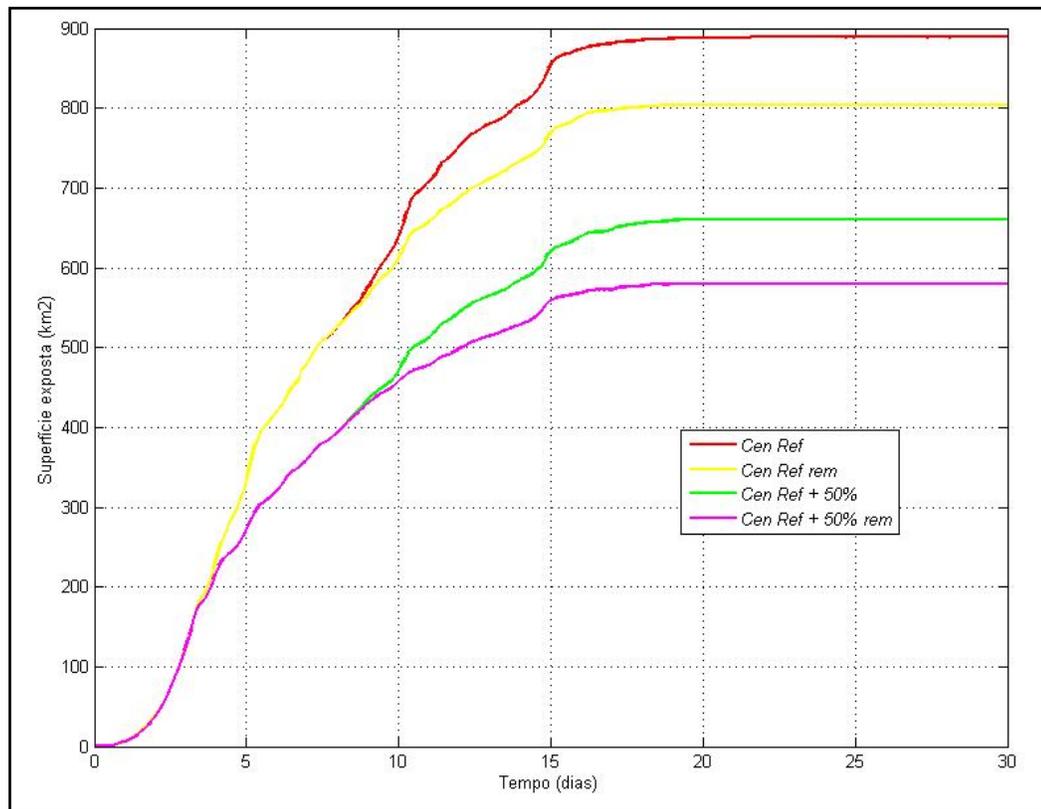


Figura 24 – Área da superfície exposta acumulada ao longo de 30 dias de simulação dos cenários de resposta para o volume de 350.000m^3 de derramamento.

6.2.1.2 DERRAMAMENTO DE 35.000m^3 DE PETRÓLEO AO LONGO DE 7 DIAS

6.2.1.2.1 Cenário de não resposta (Cen NR)

Considerando o derramamento de 35.000m^3 de petróleo durante 7 dias a partir da unidade FPSO Capixaba é mostrado na Figura 25 o padrão do deslocamento da pluma livre de óleo ao final de 30 dias de simulação.

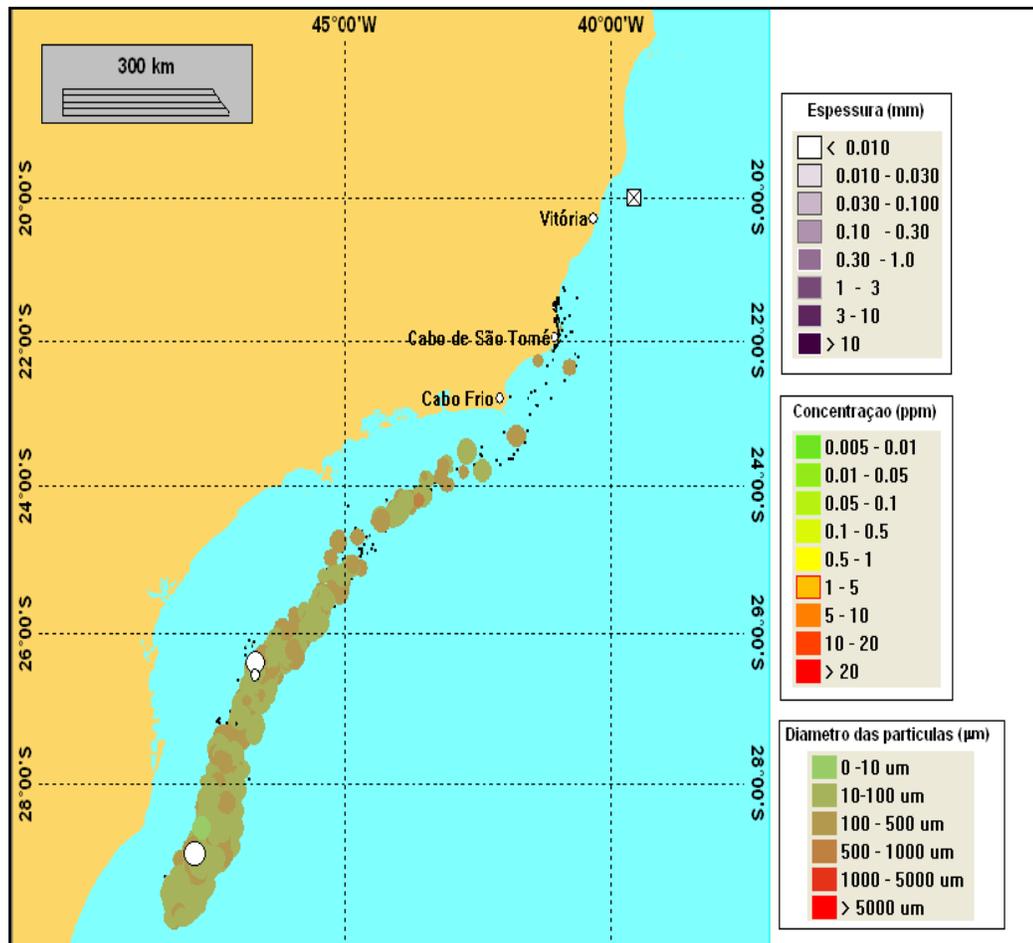


Figura 25 – Padrão de deslocamento da pluma livre de óleo liberada no ambiente no dia 02 de março de 1998. Na figura estão sobrepostas a espessura da mancha (mm), a concentração (ppm) e o diâmetro das partículas (μm).

A Figura 26 destaca a área costeira atingida pelo óleo derramado, com a identificação da concentração do petróleo nos diferentes pontos de chegada do material à costa.

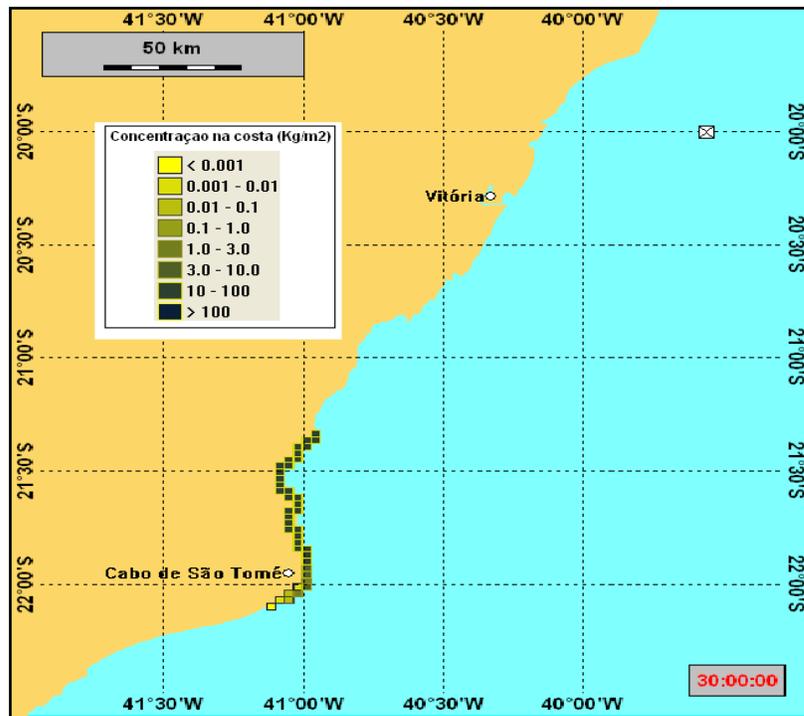


Figura 26 – Faixa costeira atingida pelo derrame de 35.000m³ petróleo liberado na ambiente marinho durante 7 dias.

Iniciado em 02 de março de 1998 e sob uma vazão de 208,3 m³ h⁻¹, o derramamento de 35.000m³ de petróleo ao longo de 7 dias teve sua pluma percorrendo uma distância aproximada de 1401,8 Km, atingindo à linha de costa aproximadamente 3 dias após o início do vazamento.

O comportamento do petróleo liberado está especificado na Figura 27, que apresenta o balanço de massa do produto ao longo de 30 dias de simulação.

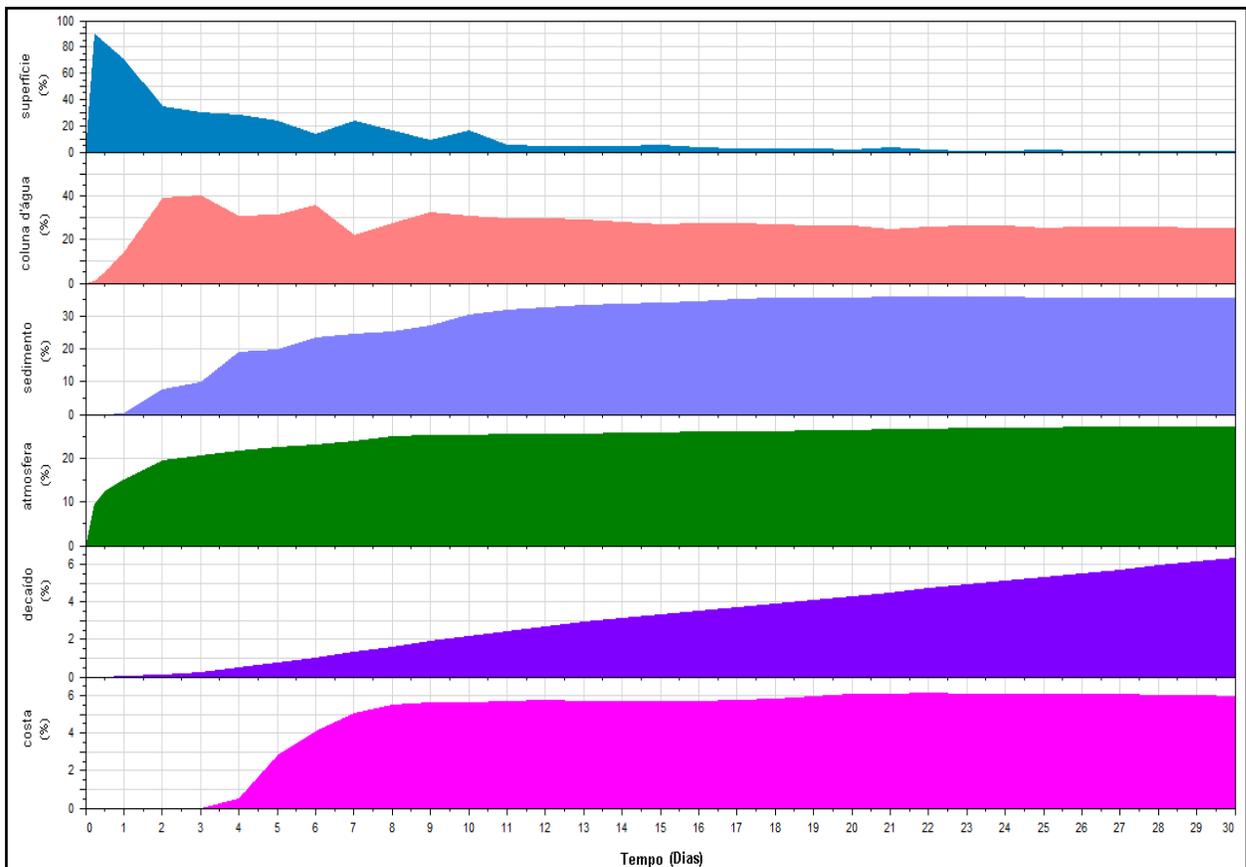


Figura 27 – Balanço de massa para 30 dias de simulação da pluma livre de óleo liberada no ambiente sem a intervenção antrópica na contenção e recolhimento do material. O volume derramado foi de 35000 m³ e o vazamento ocorreu em 7 dias.

A Figura 27 revela que nos dois primeiros dias seguintes ao início do derramamento de 30.793 toneladas de petróleo, houve uma significativa diminuição do óleo presente na superfície (cerca de 60%). Do óleo que desapareceu da superfície parte foi evaporada e outra foi transferida da superfície para a coluna d'água. Já no primeiro dia seguinte ao derramamento foram registradas ocorrências de óleo no sedimento marinho.

6.2.1.2.2 Cenários de resposta

Na Tabela 11 é listada a compartimentalização final de 35.000 m³ de petróleo vazados em 7 dias, quando adotadas as quatro estratégias de resposta sugeridas na metodologia.

TABELA 11 – PERCENTUAL DE DESTINAÇÃO FINAL DO ÓLEO AO FINAL DE 30 DIAS DE SIMULAÇÃO DO CENÁRIO DE NÃO RESPOSTA E DOS CENÁRIOS DE RESPOSTA PARA O DERRAME DE 35.000m³ DE ÓLEO

Cenários simulados	Porcentagem do Destino Final (%)						
	Superfície	Coluna d'água	Sedimento	Atmosfera	Decaído	Recolhido	Costa
<i>Cen NR</i>	0,2	25,2	35,3	27,1	6,3	-	5,9
<i>Cen Ref</i>	0,1	22,6	27,7	26,3	5,7	15,4	5,4
<i>Cen Ref rem</i>	0,2	22,4	21,9	26,0	5,6	18,1	5,7
<i>Cen Ref + 50%</i>	0,1	23,1	22,9	25,9	5,6	19,8	2,6
<i>Cen Ref rem + 50%</i>	0,1	24,2	21,7	25,4	5,6	21,5	1,4

Pela adoção das estratégias de resposta, resultados satisfatórios foram obtidos para as reduções do volume de óleo que alcançava a região costeira ao final da simulação do *Cen Ref*. É perceptível que com o remanejamento das estruturas de resposta e o aumento de 50% da CEDRO foram gradativamente removidas maiores quantidades de petróleo do mar.

Na Figura 28 é notório o quanto eficientes foram os cenários de resposta simulados, uma vez que, a modelagem da pluma livre de óleo apresentou áreas de abrangência muito maiores ao longo dos 30 dias de simulação do que quando utilizadas estruturas de combate à mancha de óleo.

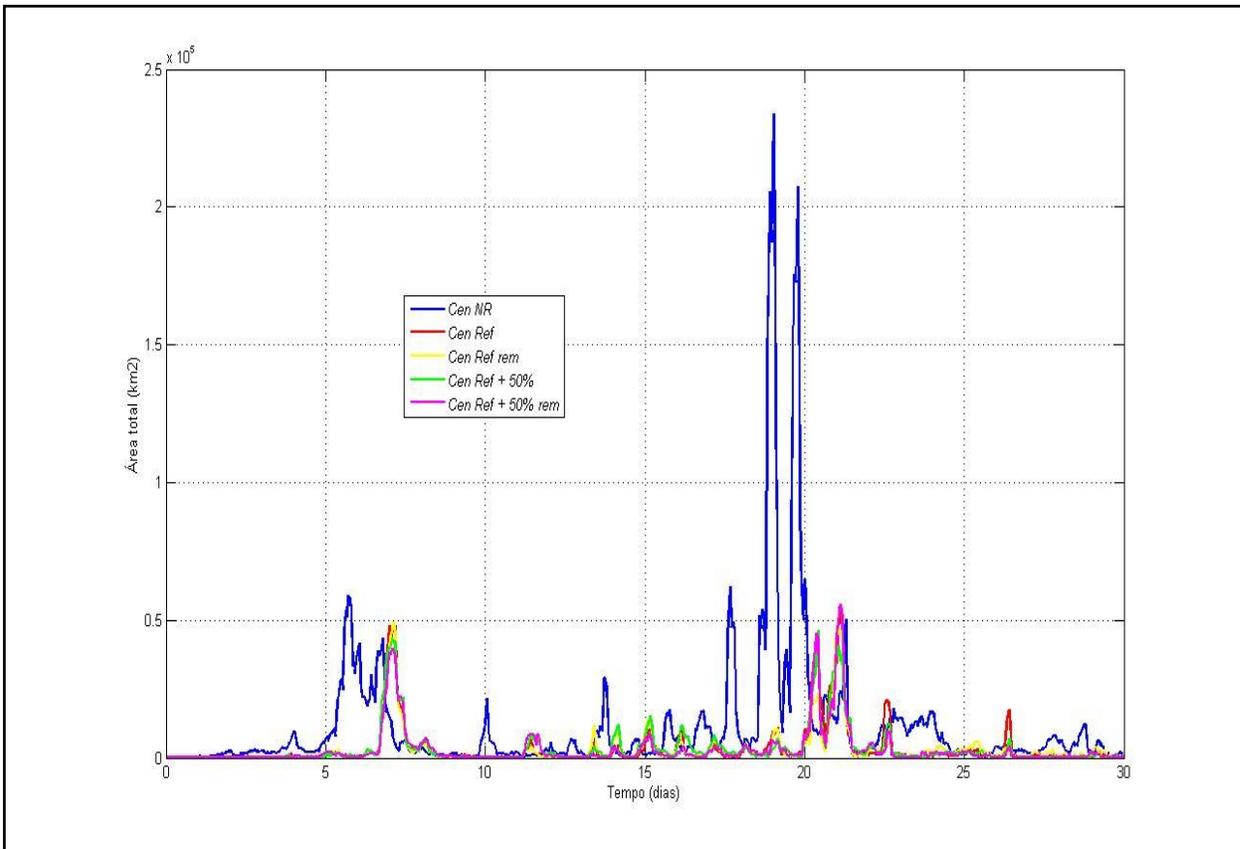


Figura 28 – Área total ocupada pela pluma de óleo ao longo de 30 dias de simulações para os cenários de não resposta e de resposta considerados no presente estudo, considerando o derramamento de 35.000m³ de petróleo por 7dias.

Em relação à área da superfície exposta durante 30 dias de simulação dos cenários de resposta, foram obtidos resultados similares ao derrame de 350.000m³ de petróleo (Figura 24), ou seja, quanto maiores os esforços empregados para a contenção e recolhimento do óleo liberado no ambiente, menores foram às áreas da linha de costa expostas ao alcance do material (Figura 29).

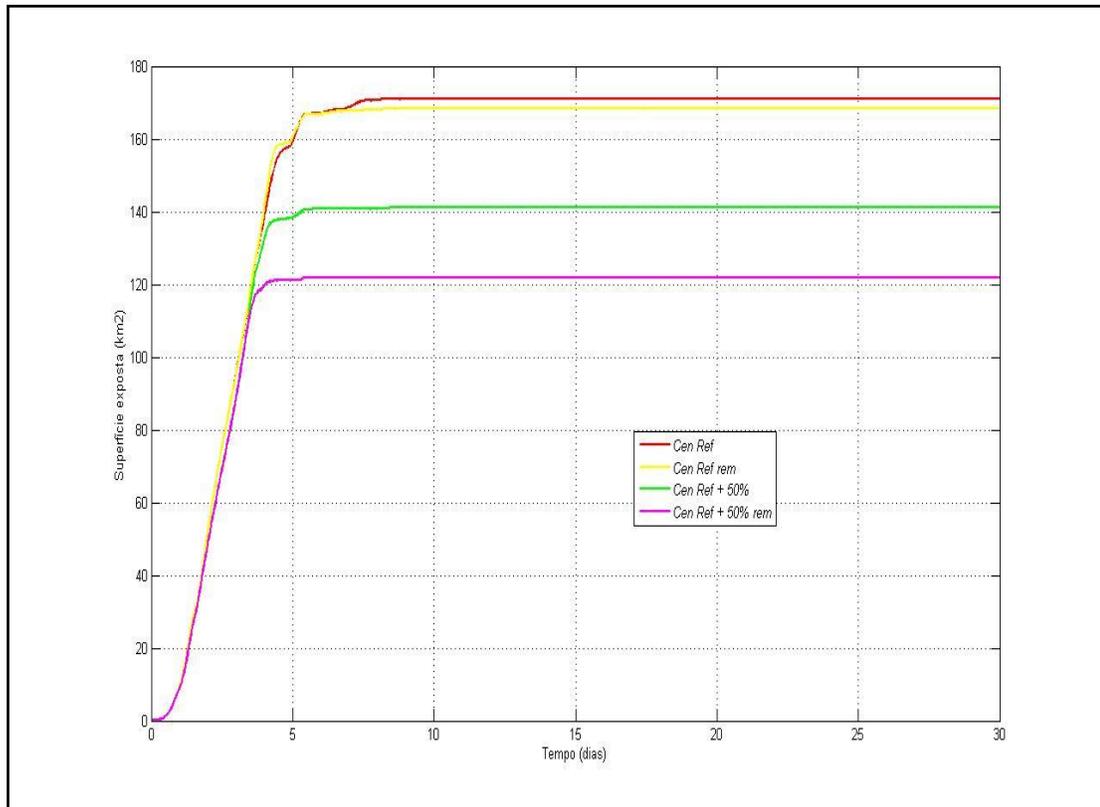


Figura 29 – Área da superfície exposta acumulada ao longo de 30 dias de simulação dos cenários de resposta para o volume de 35.000m³ de derramamento vazado por 7 dias.

Para todas as estratégias de respostas consideradas neste trabalho, estão apresentadas no ANEXO as coordenadas geográficas nas quais se considerou a atuação das formações na contenção e recolhimento do petróleo liberado no mar.

7 DISCUSSÃO

Os resultados probabilísticos das simulações numéricas utilizando do modelo OSCAR mostraram que considerando derramamentos de 350.000m^3 e 35.000m^3 de petróleo a partir da unidade FPSO Capixaba, as manchas de óleo seguiram primordialmente o fluxo da CB ao largo da quebra de plataforma, se deslocando aproximadamente até a latitude de 30°S (Figura 19). Este padrão pode ser explicado primeiro pela localização da FPSO Capixaba, já que ela está localizada na quebra de plataforma que é por onde corre o fluxo principal da CB (STRAMMA; IKEDA; PETERSEN, 1990; SILVEIRA, 2000; SOUTELINO, 2008). Além disso, há o padrão dos ventos na região, principalmente de nordeste e de intensidades variáveis entre $2,5\text{ m.s}^{-1}$ e $6,0\text{ m.s}^{-1}$ (Estudo de Impacto Ambiental, 2005). Segundo Fingas (2000), além da sua tendência natural de se espalhar, as manchas de óleo quando liberadas em áreas oceânicas sob a ação de ventos menores que 36 m.s^{-1} , tendem a se deslocar preferencialmente sob influência das correntes superficiais.

Em relação às simulações determinísticas, nas Figuras 21 e 26 são mostradas, respectivamente, as extensões da linha de costa atingidas pelo óleo quando simulados os *Cen NR*, dados os vazamentos de 350.000 m^3 e 35.000 m^3 de óleo. Para o primeiro caso citado (vazamento do volume de pior caso), do montante total de óleo acidentalmente liberado no mar, aproximadamente 7761 toneladas alcançaram uma faixa litorânea compreendida entre os estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro, onde elas foram distribuídas em manchas (*patches*) com espessuras superiores a 10 mm em todas às áreas de alcance. Em relação ao segundo derrame (vazamento correspondente a 10% do volume de pior caso) não foi observado o mesmo padrão de distribuição do óleo na região costeira, uma vez que só o estado do Rio de Janeiro apresentou óleo chegando a sua costa. Os resultados assim obtidos são consequência da combinação tanto dos volumes quanto das vazões dos derramamentos simulados ($972,2\text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ e $208,3\text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ para 350.000 m^3 e 35.000 m^3 de óleo, respectivamente) e do padrão meteoceanográfico do período modelado.

Ainda associada às vazões dos derramamentos e as condições meteoceanográficas da sua área de ocorrência, estão mostradas nas Figuras 22 e 27, os tempos transcorridos após o início dos vazamentos de 350.000 m³ e 35.000 m³ de óleo para que fossem registrados os primeiros toques de óleo na costa. Os gráficos apontam que há uma relação de proporcionalidade inversa dos valores das vazões com o tempo de chegada do óleo à costa, uma vez que, para o derrame de 350.000 m³ de petróleo, o óleo alcançou à costa cerca de 6 dias dado o início do incidente, sendo que para o volume de 35.000 m³ de petróleo o óleo atingiu a costa aproximadamente 3 dias depois do começo do vazamento. Os resultados sugerem que menores taxas de vazamento de óleo resultariam em manchas superficiais menos espessas e mais facilmente sujeitas ao deslocamento provocado pelas forçantes meteoceanográficas. É preciso, no entanto, lembrar que os períodos de simulação são distintos e, portanto, há um grau de liberdade adicional a ser considerado.

Nos gráficos das Figuras 22 e 27, também, são identificados os percentuais de compartimentalização do óleo liberado no ambiente ao longo de 30 dias de simulação. Estas nuances são impostas pela ocorrência natural dos processos que modificam as características originais do óleo liberado no ambiente marinho. Para o trabalho em questão, o óleo derramado faz parte do Grupo III (°API igual a 27,5), que abrange óleos com °API dentro dos limites de 17,5 e 35, que como mostrado na Figura 30, podem sofrer grande emulsificação nos primeiros dias seguintes ao derrame.

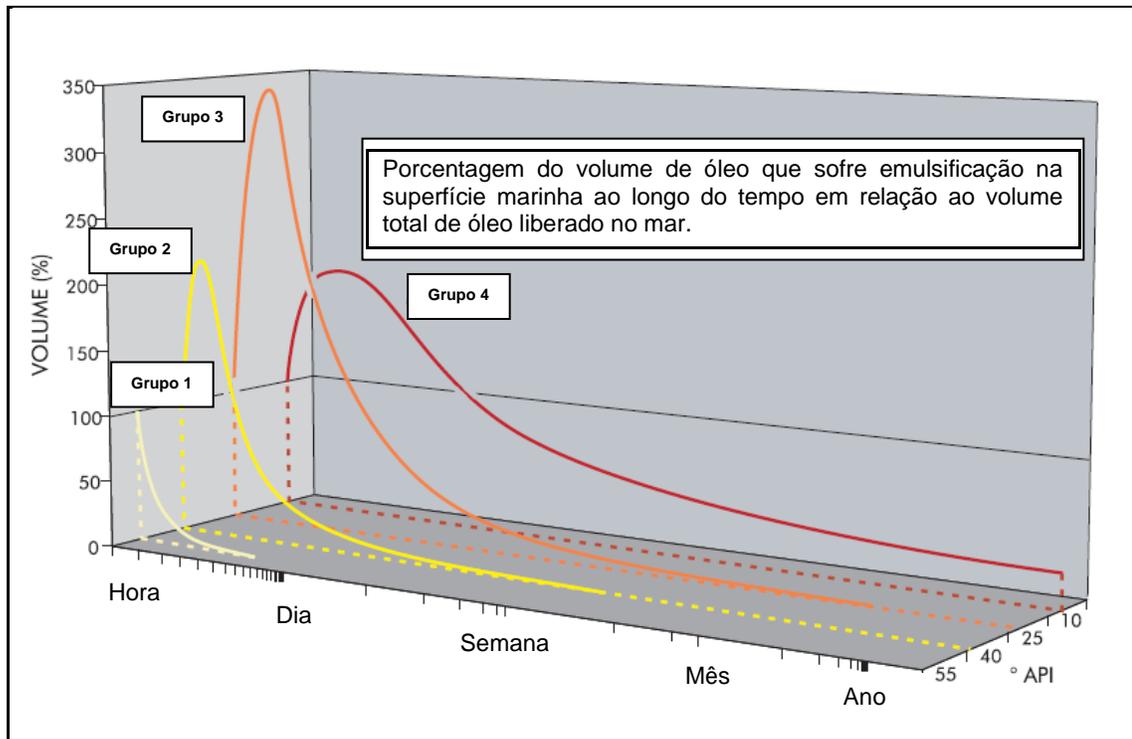


Figura 30 – Aumento percentual do óleo como resultado da emulsificação de quatro grupos distintos de óleo classificados segundo o seu °API.

Fonte: Modificado de ITOPF (2009a).

Associado ao processo de emulsificação do óleo há o aumento proporcional da sua viscosidade, o que reduz a efetividade dos equipamentos dotados de discos oleofílicos empregados para a remoção do óleo presente na superfície marinha (BRASIL, 2007). Assim sendo, no presente estudo, para a elaboração dos cenários de resposta, foi considerada a disposição das formações inicialmente em locais próximos ao ponto de origem dos derrames (unidade FPSO Capixaba). Outro fator que determinou a localização das formações consideradas no contingenciamento do óleo foi que próximo ao local do derramamento as manchas de petróleo se encontravam mais espessas e menos dispersas no ambiente, facilitando a contenção e o recolhimento do óleo presente na superfície marinha. Por outro lado, distante do ponto de vazamento do óleo as manchas são menos espessas e se distribuem sobre uma maior área, dificultando a contenção e o recolhimento das mesmas. Na Figura 31, são mostrados os dois casos, quando há maior efetividade da contenção e do recolhimento do óleo (**A**), e quando

ocorre redução da efetividade das estruturas em face do maior espalhamento do óleo liberado no ambiente **(B)**.

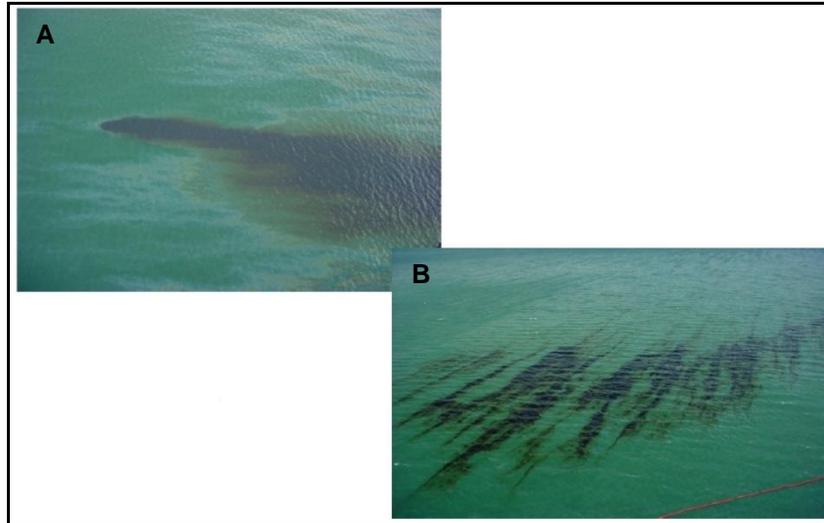


Figura 31 – Padrão de espalhamento de um óleo com °API variável entre 17,5 e 35,5, sob registros diferenciados de velocidades dos ventos, sendo: (A) Baixa velocidade (B) Alta velocidade. No caso A o óleo é mais facilmente removido da superfície marinha, pois a mancha está espessa e pouco dispersa na superfície da água. Já no segundo caso (B), a contenção e remoção do óleo é dificultada, pois a mancha de óleo está menos espessa e abrangendo uma maior área da superfície marinha, o que dificulta o cerco da mancha pelas barreiras de contenção e a sua posterior remoção pelos “skimmers”.

Fonte: CETESB (2008)

Em relação aos cenários de respostas simulados neste trabalho (*Cen Ref, Cen Refrem, Cen Ref + 50%* e *Cen Ref + 50% rem*) para os dois volumes de derramamentos, obteve-se como padrão a redução da área costeira exposta ao acúmulo de óleo quando implementados aumentos nos esforços (remanejamento das estruturas) e na capacidade de recolhimento (aumento de 50%) do material (Figuras 24 e 29). Um fato observado foi a não correlação entre o percentual total de óleo recolhido e o percentual de chegada do óleo à costa para os cenários que consideraram o derramamento de 350.000 m³ (Tabela 10). Isto é, o óleo foi recolhido, mas não se evitou que ele chegasse à costa. Entretanto, quando simulados os cenários de respostas que consideraram o vazamento de 35.000 m³ de óleo, os registros de maiores percentuais de recolhimento estiveram associados à ocorrência de menores percentuais de óleo na costa (Tabela 11). Nas Figuras 32 e 33 pode-se visualizar os percentuais de efetividade das estratégias de resposta adotadas, calculada a partir das

reduções dos volumes de óleo que atingiram a região costeira comparativamente aos cenários de não resposta (*Cen NR*).

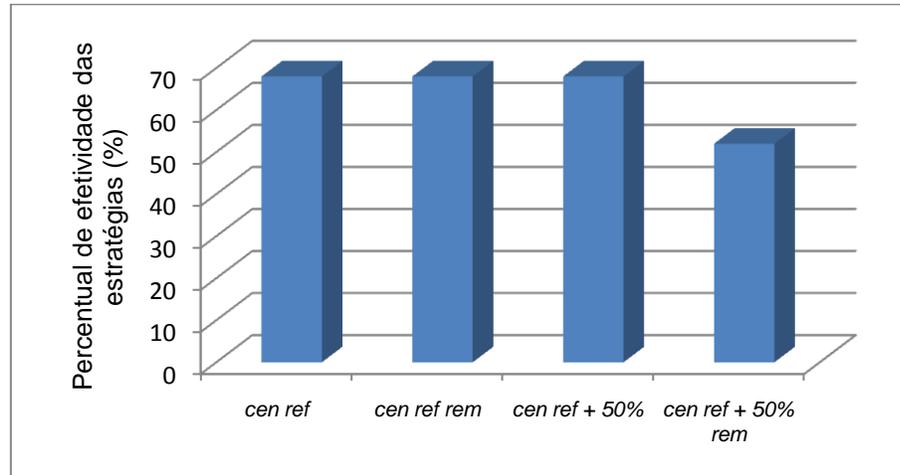


Figura 32 – Percentuais de efetividade das estratégias de repostas ao final de 30 dias de simulação do derramamento de 350.000 m³ de petróleo em relação ao *Cen NR*.

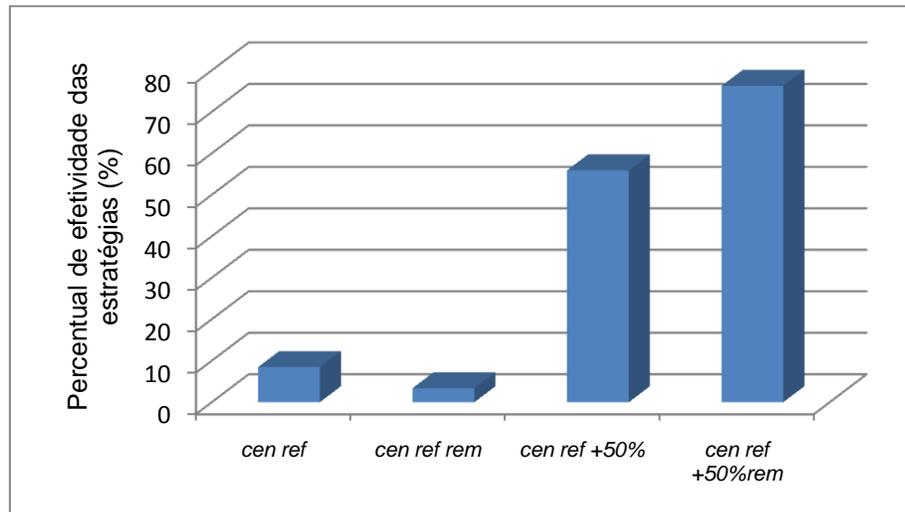


Figura 33 – Percentuais de efetividade das estratégias de repostas ao final de 30 dias de simulação do derramamento de 35.000 m³ de petróleo em relação *Cen NR*.

Na Figura 32 é mostrado que apesar do aumento gradual dos esforços e da CEDRO empregados do *Cen Ref* até o *Cen Ref + 50%*, o volume de óleo que alcançou a costa foi mantido constante. Para o *Cen Ref + 50% rem* houve uma diminuição do percentual de efetividade desta estratégia em relação as demais simuladas, uma vez que, para este caso obteve-se um incremento no volume de óleo que alcançava a região costeira. Já na Figura 33, com exceção do cenário *Cen Ref rem*, todos os demais cenários

mostraram aumento da efetividade das respostas diretamente relacionado ao aumento dos esforços da CEDRO implementada. Nesta figura é mostrado, conforme o esperado, que o cenário mais efetivo na redução do volume total de óleo que atingiu a costa no *Cen NR* foi o *Cen Ref + 50% rem*. Os resultados parecem sugerir que há um limite no volume derramado para o qual há uma efetiva redução (igual a 100%) de chegada do óleo a costa, pois há um limite na capacidade disponível ou mesmo financeira do número de estruturas a serem dispostas no oceano.

Em relação aos dados acima apresentados, pode-se afirmar que em uma eventual ocorrência de vazamentos dos volumes de pior caso e de 10% do volume de pior caso produzidos na unidade FPSO Capixaba, o óleo inevitavelmente atingiria a linha de costa. Com vazões inferiores a $208,3 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$, os cenários de combate adotados proporcionam reduções dos impactos ambientais nas áreas oceânicas (Figura 28), e dos impactos ambientais e socioeconômicos nas áreas costeiras (Figura 29). O gráfico da Figura 28 mostra que houve uma diminuição da área da superfície oceânica com potencial de ser atingida pelo petróleo proveniente do derramamento de 35.000 m^3 , o que não foi obtido para os cenários de respostas simulados com o volume de pior caso (Figura 23).

Ambientalmente, reduções de óleo na coluna d'água e no sedimento para as áreas costeiras e oceânicas atingidas pelo óleo, são altamente satisfatórios podendo ser citado o exemplo, dentre muitos outros, das reduções das concentrações de HPA's disponibilizados no ambiente. Os HPA's são compostos lipofílicos muito resistentes à degradação, sendo identificados como potentes carcinogênicos. A diminuição da exposição dos organismos nectônicos e bentônicos a esta classe de hidrocarbonetos proporciona a redução dos impactos negativos que estes podem causar sobre as populações (BRASIL, 2007). Na Figura 13 é mostrada a composição do petróleo utilizado nas simulações, podendo ser identificada a significativa concentração dos HPA's presentes no óleo utilizado nas simulações deste trabalho.

Todavia, quando pautada a relação custo/benefício das estratégias de respostas aqui sugeridas, provavelmente existiriam sérias discussões entre os diversos atores sociais (“*stakeholders*”), afinal a sociedade sensibilizada, cobraria do poluidor e do órgão ambiental competente medidas de minimização dos impactos. Porém, a rentabilidade econômica da implantação das estratégias de respostas geram gastos exorbitantes, uma vez que para serem eficientes as ações de resposta devem primar pela rapidez no acionamento das equipes e desencadeamento das atividades necessárias, disponibilidade de equipamentos e especificidade adequada ao cenário acidental, disponibilidade de pessoal treinado e capacitado para o desenvolvimento das tarefas relacionadas à frente de trabalho. Assim sendo, passa-se a entrar no campo da valoração ambiental, uma abordagem que está além dos objetivos deste trabalho. Para um maior conhecimento deste tema sugere-se a leitura do livro “*Economics Losses From Marine Pollution a Handbook for Assessment*” (OFIARA;SENECA, 2001).

Para que fosse feita uma avaliação da relação custo/benefício da implementação das estratégias de resposta adotadas foi considerado o tempo médio de atuação das embarcações (= tempo total / número de estruturas), para cada cenário (Tabela 12) e calculou-se a razão entre o percentual de efetividade das estratégias e o tempo total de trabalho das formações, obtendo-se os gráficos das Figuras 34 e 35, para os volumes de 350.000 m³ e 35.000 m³, respectivamente.

TABELA 12 – TEMPO MÉDIO DE ATUAÇÃO DE CADA EMBARCAÇÃO NOS DIFERENTES CENÁRIOS DE RESPOSTAS CONSIDERADOS NESTE TRABALHO. OBSERVE QUE OS TEMPOS NÃO AUMENTAM PROPORCIONALMENTE COM O INCREMENTO DA ESTRUTURA UMA VEZ QUE AS ESTRUTURAS PARARAM DE FUNCIONAR QUANDO NÃO HAVIA MAIS ÓLEO PRESENTE NA SUPERFÍCIE DA ÁGUA.

	Cenários	Tempo médio de atuação de cada embarcação (horas embarcações ⁻¹)
350.000m ³	CenRef	151,2
	CenRefrem	202,1
	Cen Ref + 50%	139,3
	Cen Ref + 50% rem	161,3
35.000m ³	Cen Ref	76,8
	CenRefrem	163,5
	Cen Ref + 50%	53,6
	Cen Ref + 50% rem	162,38

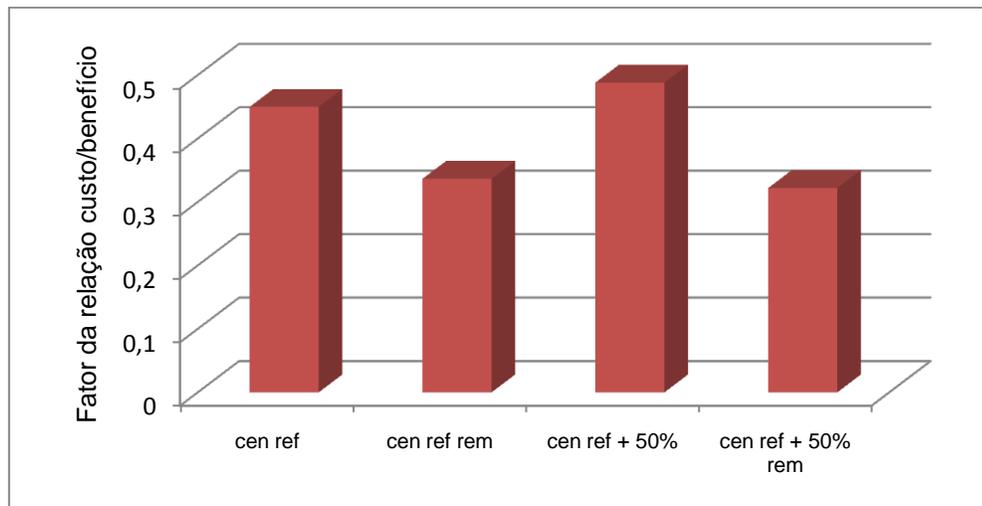


Figura 34 – Relação custo/benefício das estratégias de respostas adotadas determinada pela razão entre o percentual de efetividade das respostas em relação frente ao tempo de atuação das embarcações no mar, considerando o volume do derrame igual a 350.000 m³.

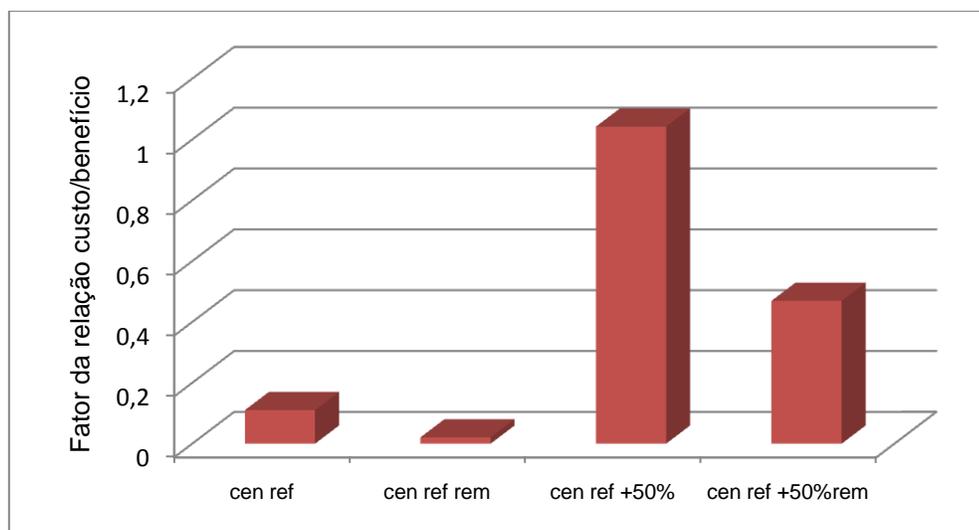


Figura 35– Relação custo/benefício das estratégias de respostas adotadas determinada pela razão entre o percentual de efetividade das respostas em relação frete ao tempo de atuação das embarcações no mar, considerando o volume do derrame igual a 35.000 m³.

Sabendo que no Brasil está prevista na legislação a obrigatoriedade de se adotar medidas mitigadoras para a contenção e remoção do petróleo acidentalmente liberado no mar, ao menos o *Cen Ref* apresentado neste estudo deverá ser implementado caso ocorra um incidente envolvendo a FPSO Capixaba, uma vez que neste cenário foram adotadas exatamente as diretrizes propostas pela Resolução CONAMA 398/08 para a remoção do óleo presente na superfície marinha. Assim sendo, os gráficos

apresentados nas Figuras 34 e 35, permite concluir que, além dos *CenRef* (obrigatórios) as estratégias que se mostraram de maior rentabilidade econômica foi a do *Cen Ref + 50%*, simuladas para os dois volumes de vazamentos. As demais estratégias propostas, apesar de serem viáveis, se mostraram de menor relação custo/benefício, afinal, seria despendido muito tempo para se obter reduções plausíveis dos volumes de óleo acumulados na costa. Logo, conclui-se que para se obter reduções significativas dos percentuais de petróleo remanescentes na costa ao final de 30 dias, seria necessário o gasto de grandes somas de dinheiro para se manter em operação todas as formações sugeridas, passando assim, ser discutida a viabilidade técnica no que tange a mobilização de vários barcos para pontos afastados da costa e para o aumento de 50% do número de embarcações lançadas ao mar.

Comparando os gráficos das Figuras 34 e 35 pode-se concluir que a relação custo/benefício da implantação das estratégias de respostas são mais vantajosas economicamente quando há ocorrência de vazamento do volume intermediário de óleo (35.000 m³). Este fato está intrinsecamente relacionado às vazões dos derramamentos e a maior ou menor taxa de intemperização do óleo, conforme discutido anteriormente.

Considerando as avaliações feitas acima, é sugerido que sejam adotadas medidas, em âmbitos legais, enérgicas para a prevenção da ocorrência de incidentes envolvendo liberações de petróleo no ambiente por instalações petrolíferas de produção, armazenamento e estocagem, uma vez que, gasta-se menos na prevenção do que na mitigação dos eventos desta natureza.

8 CONCLUSÃO

Em virtude dos resultados apresentados e discutidos neste trabalho, conclui-se que:

- 1) Dado um derramamento de petróleo no campo de Golfinho, a partir da unidade de exploração FPSO Capixaba, as manchas de óleo liberadas no ambiente seguiram primordialmente o fluxo da CB em consequência do padrão de circulação atmosférica atuante na região;
- 2) O comportamento do óleo no mar está intrinsecamente relacionado às condições meteoceanográficas da área de estudo. Desta forma, faz-se necessária a utilização de dados confiáveis de vento e corrente, com uma excelente resolução espaço-temporal, para que os resultados obtidos se assemelhem ao máximo aos cenários de incidentes reais;
- 3) As diferentes vazões dos derramamentos vão determinar o tempo de chegada do óleo à costa, assim como a extensão e áreas da linha de costa atingidas pelo óleo, afinal, quanto menos espessas foram às manchas de óleo mais potencialmente elas serão transportadas sobre a superfície marinha pela atuação dos ventos e das correntes superficiais no local de derramamento;
- 4) Para um derramamento de 350.000m^3 de petróleo, por maiores os esforços empregados na contenção e recolhimento deste material, a região costeira sempre estará sujeita a ocorrência do toque de óleo, mesmo que haja um aumento de 50% da CEDRO estabelecida pela Resolução CONAMA 398/08;
- 5) Para os derrames de 35.000m^3 de petróleo, algumas estratégias de contenção e recolhimento elaboradas no decorrer deste estudo, apresentaram grande efetividade, sendo em relação a este resultado, sugerida a existência de um limite do volume derramado para o qual há efetiva redução da chegada do óleo à costa.

- 6) Quando adotadas ações de resposta, pelo volume de óleo removido da superfície marinha não se pode afirmar que necessariamente o volume de óleo que atingirá a costa será reduzido, o que se obtêm, é uma diminuição da área costeira exposta ao óleo derramado no mar.
- 7) Pela adoção das estratégias de respostas neste trabalho sugerida, obteve-se satisfatoriamente a minimização dos impactos ambientais oriundas do aumento paulatino da retirada do óleo sobrenadante da superfície marinha, uma vez que, há redução da exposição dos organismos marinhos aos compostos tóxicos do óleo, tais como, HPA's e organoclorados.
- 8) Finalmente, dentre os cenários de respostas simulados para os dois volumes de derramamento, o que considerou o aumento de 50% da CEDRO foi vantajoso considerando a razão entre a efetividade e tempo de operação das estruturas de resposta no mar.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AAMO, O. M.; REED M.; LEWIS, A. Regional Contingency Planning Using the OSCAR Oil Spill Contingency and Response Model. **SINTEF Applied Chemistry Environmental Engineering**. N-7034, Trondheim, Noruega.
2. AGENDA 21, Capítulo 17. Rio de Janeiro: Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21, 1992. Disponível em: <<http://www.direitoshumanos.usp.br/index.php/Agenda-21/capitulo-17-protecao-dos-oceanos-de-todos-os-tipos-de-mares-inclusive-mares-fechados-e-semifechados-e-das-zonas-costeiras-e-protecao-uso-racional-e-desenvolvimento-de-seus-recursos-vivos.html>>. Acesso em: 02 nov. 2009.
3. ALBINO, Jacqueline. **Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das Praias de Bicanga a Povoação, ES**. Tese (Mestrado em Geologia Sedimentar) - Programa de Pós-graduação e Geologia Sedimentar - Instituto de Geociências, USP, 1999.
4. ALBINO, J.; VALE, C. C.; GOMES, R. C. **Modelagem, monitoramento, erosão e ocupação costeira** – MMOC/ES, INSTITUTO DO MILÊNIO – RECOS. Relatório Final. UFES. 2004.
5. ANP (2009). AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO E GÁS. Disponível em: <www.anp.gov.br>. Acesso em: 09 abr. 2009.
6. BASTOS, C.C.; FERREIRA, N.J. **Análise climatológica da alta subtropical do Atlântico Sul**. Universidade do Vale do Paraíba. 2005.
7. BRASIL. Lei nº 5357 de 17 de novembro de 1967. Estabelece as penalidades para as embarcações e terminais marítimos ou fluviais que lançarem detritos ou óleo em águas brasileiras, e dá outras providências.

8. BRASIL. Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. Estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e da outras.
9. BRASIL. Lei nº 9.966 de 28 de abril de 2000. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e da outras providencias.
10. BRASIL. Decreto nº 4.136 de 20 de fevereiro de 2002. Dispõe sobre as especificações sobre as sanções aplicáveis as regras de prevenção, controle e fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional.
11. BRASIL. Secretaria do Meio Ambiente (CETESB). **Ambientes costeiros contaminados por óleo**: procedimentos de limpeza – manual de orientação. São Paulo, 2007.
12. BROS, B.; REED, M.; HOVERSTAD, B. A 3-Dimensional Hydrodynamic Dataset for the Coast of Brazil. **Emissions Reduction Market System (ERMS) Reports**, n.17, 2005.
13. Campos em produção. **Site ANP**.
<http://www.anp.gov.br/doc/dados_estatisticos/Campos_em_Fase_de_Produção.xls>. Acesso em: 10 jun. 2009.
14. CARMONA, S.L., GHERARDI, D.F., TESSLER, M.G. Dados de sensoriamento remoto e de geoprocessamento para apoio aos planos de contingência durante eventos de derramamentos de óleo em regiões costeiras: o caso do litoral norte do estado de São Paulo. In: Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...**Belo Horizonte: INPE, p.431-438.

15. CASTRO, B.M.; MIRANDA, L.B. **Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 40 and 34oS coastal segment (4oW)**. In: Robinson, A.R. and Brink, K.H., (eds), *The Sea*. p. 209-251. 1998.
16. CLARK, R., B.; ATTRILL, M.; FRID, C. **Marine pollution**. London: Oxford University, 2001.
17. CETESB (2009). COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 04 abr. 2009.
18. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 269, de 12 de janeiro de 2001. **Resoluções do Conama**: resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008, Brasília, 2.ed., p.58-61, 2008. Disponível em:<www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/LivroConama.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2008a.
19. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 293, de 29 de abril de 2002. Revogada pela Resolução 398/08. **Resoluções do Conama**: resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008, Brasília, 2.ed., p.170-174, 2008. Disponível em:<www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/LivroConama.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2008b.
20. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 398, de 11 de junho de 2008. **Resoluções do Conama**: resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008, Brasília, 2.ed., p.714-730, 2008. Disponível em:<www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/LivroConama.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2008c.

21. COSTA, T.P. **Existe um Vórtice de Vitória Climatológico?**. 2007. 76f. Monografia (Graduação em Oceanografia) - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo - IO/USP. 2007.
22. DOWNING, K; REED, M. Object-oriented migration modeling for biological impact assessment. **Ecological Modelling**, v.93, p.2003-219, 1996.
23. ELIAS DE LIMA PORTO, Gisele. Responsabilidade pela poluição marinha. **Revista Jurídica do Centro de Estudos Judiciários**, Brasília, set./dez. 2000. Disponível em:<www.estig.ipbeja.pt/~ac_direito/PolMar.pdf>. Acesso em: 5 mai. 2009.
24. Estudo de Impacto Ambiental. **EIA - Estudo de Impacto Ambiental do Campo de Golfinho**. Atividade de Produção e Escoamento de Óleo e Gás no Campo de Golfinho, Bacia do Espírito Santo, no Estado do Espírito Santo: Impactos Ambientais. Rev 1. Maio, 2005.
25. EVERS, K., SØRHEIM, K.R.; SINGSAAS, I. Oil spill contingency planning in the Arctic – recommendations. In: - **Arctic Operation Platform**. Noruega, 2006.
26. FERREIRA, J. P. **Análise de estratégias de resposta a derramamento de óleo pesado no litoral do Espírito Santo utilizando modelagem computacional**. 2006. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.
27. FINGAS, M. **The basics of oil spill cleanup**. CRC Press LLC. 2001.
28. GAETA, S.A.; LORENZZETTI, J.A.; MIRANBA, L.B; SUSINI-RIBEIRO, S.; POMPEU, M. **The Vitoria Eddy and its relation to the phytoplankton biomass and primary productivity during the austral 1995**. Arch. Fish. Mar. Res. v. 47, p. 253-270. 1999.

29. **IBAMA**. Modelagem de derramamento de óleo no mar. In:- . **Informação Técnica ELPN/IBAMA n° 023/02**. Rio de Janeiro: Informação técnica, 2002.
30. HidroClean (2009). Hidroclean Proteção Ambiental. Disponível em: <www.hidroclean.com.br>. Acesso em: 10 jun. 2009.
31. IMO, (2005). INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). Disponível em: <www.imo.org>. Acesso em: 04 abr. 09.
32. IPIECA, (2000). A guide to contingency planning for oil spills on water. International Petroleum Industry Environmental Conservation Association. London. UK. Ipieca Report Series, Volume two, 2nd Edition, Mar., 2000.
33. ITOPF. Handbook 2009/2010. **The International Tanker Owners Pollution Federation Limited**. London, UK, 2009a. Disponível em: <www.itopf.com>. Acesso em: 6 abr. 2009.
34. ITOPF. Clean-Up Techniques: Containment and Recovery of Floating Oil, 2009a. Disponível em: <<http://www.itopf.com/spill%2Dresponse/>>. Acesso em: 06 abr. 2009.
35. KOPPEN, W. **Climatologia: com un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Económico, México. 1948.
36. LEMOS, A. T. **Modelagem numérica da maré barotrópica na costa do Espírito Santo**. 2006. 65f. Monografia (Graduação em Oceanografia) –Universidade Federal do Espírito Santo, 2006.
37. LEMOS, A. T. **Modelagem numérica como ferramenta de determinação de uma zona de exclusão para as atividades de exploração e produção (E&P) de petróleo na região do Banco de Abrolhos**. 2009. 177 f. Dissertação (Mestrado em

Oceanografia) – Programa de Pós- Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2009.

38. NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Ed. 2. Rio de Janeiro, IBGE. 1989.
39. NORDVICK, A. B. The Technology Windows-of-Opportunity for Marine Oil Spill Response as Related to Oil Weathering and Operations. **Spill Science & Technology Bulletin**, v. 2, n 1, p. 17-46. 1995.
40. MILANI, E.J.; BRANDÃO, J.A.S.L.; ZALAN, P.V.; GAMBOA, L.A.P. Petróleo na margem continental brasileira: geologia, exploração, resultados e perspectivas. **Brazilian Journal of Geophysics**. Brasil, v.18, 2001.
41. OFIARA, D.; SENECA, J. **Economics losses from marine pollution a handbook for assessment**. Island: Island Press, 2001.
42. PIMENTEL, F.P. **Análise de estratégias de resposta a derramamentos de óleo no Campo de Golfinho (ES - Brasil) utilizando o modelo OSCAR**. 2007. 114 f. Monografia (Graduação em Oceanografia) –Universidade Federal do Espírito Santo, 2007.
43. PORTO, G.E. L. Responsabilidade pela poluição marinha. **Revista do Centro de estudos Jurídicos**, Brasília, n. 12, p. 51-57, set./dez.,2000.
44. REED, M.; AAMO, O. M.; DAILING, P. S. **Quantitative Analysis of Alternates Oil Spill Response Strategies using OSCAR**. **Spil Science & Technology Bulletin**, v. 2, n.1,p. 67-74, 1995a.
45. REED, M. **A three-dimensional oil and chemical spill model for environmental impact assessment**. In: Oil Spill Conference, Long Beach, California, 1995b.

46. REED, M. et al. Oil Spill Modeling towards the Close of the 20th Century: Overview of State of the Art. **Spill Science & Technology Bulletin**, v.5, n. 1, p.3-16, 1999.
47. REED, M. **Technical Description and Verification Tests of OSCAR2000, A Multi-Component 3-Dimensional Oil Spill Contingency And Response Model**. SINTEF Report, 2001.
48. REED, M. et al. Modelling of dispersant application to oil spills in shallow coastal waters. **Environmental Modelling & Software**, v.19, p. 681-690, 2004.
49. RODRIGUES, M.L.G.; FRANCO, D.; SUGAHARA, S. Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geofísica**. Brasil, v.22, p.135-151, 2004.
50. ROSMAN, P. C. C. **Referência Técnica do SisBaHiA**. PENO-COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
51. SCHMID, K. C. A., et al. The Vitória Eddy and Its Relation to Brazil Current. **Journal of Physical Oceanography**, v.25, p. 2532- 2546, 1995.
52. SCHMID, K. C. A., et al. Modelo paramétrico para a estrutura de velocidade do sistema Corrente do Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**. v.25, p. 75-91, 2007.
53. SILVEIRA, I.C.A.D.; SCHMIDT, A.C.K.; CAMPOS, E.J.D.; GODOI, S.S.D.; IKEDA, Y. **A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira**. Revista Brasileira de Oceanografia. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo - SP. v. 48, p. 171-183. 2000.
54. SINTEF. **The Foundation for Scientific and Industrial Research at Norwegian Institute of Technology (NTH)**. Disponível em: <<http://www.sintef.no/Home/Materials-and-Chemistry/Marine-Environmental->

Technology/Environmental-modelling/Numerical-models/OSCAR-Oil-Spill-Contingency-And-Response/Model-Description>. Acesso em: 10 nov. 2009.

55. SOUTELINO, R.G. **A Origem da Corrente do Brasil**. 2008. 120 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Programa de Pós- Graduação em Oceanografia Física, Universidade de São Paulo, 2008.
56. STRAMMA, L., Y.; IKEDA, R.; G. PETERSON: **Geostrophic transport in the Brazil Current north of 20°S**. Deep-Sea Res., v. 37, 1990.

ANEXO

Apresentação das coordenadas geográficas nas quais as formações atuaram na contenção e recolhimento do petróleo derramado no mar

DERRAMAMENTO DE 350.000m³ DE PETRÓLEO AO LONGO DE 15 DIAS

Tabela I - Cenário de Referência (Cen Ref)

Formação	Coordenadas	
	Latitude	Longitude
1	20°06'09"S	39°42'21"W
2	20°08'03"S	39°50'50"W
3	20°12'36"S	39°50'02"W
4	20°19'48"S	39°53'02"W
5	20°16'46"S	40°00'32"W
6	20°23'12"S	40°00'56"W
7	20°40'13"S	40°19'12"W
8	20°46'44"S	40°18'24"W
9	20°57'18"S	40°17'59"W
10	21°04'28"S	40°18'24"W
11	21°14'38"S	40°18'48"W

Tabela II - Cenário de Referência com efetuação do remanejamento das formações (Cen Ref rem)

Formação	Coordenadas	
	Latitude	Longitude
1	20°50'25"S	40°30'37"W
2	20°56'21"S	40°30'37"W
3	21°04'11"S	40°31'25"W
4	21°12'00"S	40°30'12"W
5	21°18'41"S	40°30'12"W
6	21°26'51"S	40°31'12"W
7	20°40'13"S	40°19'12"W
8	20°46'44"S	40°18'24"W
9	20°57'18"S	40°17'59"W
10	21°04'28"S	40°18'24"W
11	21°14'38"S	40°18'48"W

Tabela III - Cenário de Referência com aumento de 50% CEDRO (Cen Ref + 50%)

Formação	Coordenadas	
	Latitude	Longitude
1	20°05'05"S	39°42'02"W
2	20°07'52"S	39°41'29"W
3	20°11'35"S	39°51'05"W
4	20°15'17"S	39°51'05"W
5	20°16'53"S	40°00'28"W
6	20°20'26"S	40°00'38"W
7	20°24'08"S	40°00'16"W
8	20°26'24"S	40°11'34"W
9	20°31'11"S	40°11'21"W
10	20°41'22"S	40°22'49"W
11	20°44'42"S	40°23'12"W
12	20°48'35"S	40°23'02"W
13	20°52'57"S	40°23'02"W
14	20°57'53"S	40°23'02"W
15	21°02'38"S	40°22'39"W
16	21°08'14"S	40°22'26"W
17	21°11'24"S	40°22'49"W

Tabela IV - Cenário de Referência com aumento de 50% CEDRO e efetuação do remanejamento das formações (Cen Ref + 50% rem)

Formação	Coordenadas	
	Latitude	Longitude
1	21°14'01"S	40°50'25"W
2	21°16'54"S	40°50'25"W
3	21°22'14"S	40°50'37"W
4	21°25'57"S	40°50'52"W
5	21°29'51"S	40°50'37"W
6	21°34'59"S	40°50'25"W
7	21°39'29"S	40°50'13"W
8	21°43'11"S	40°50'13"W
9	21°49'07"S	40°50'52"W
10	20°41'22"S	40°22'49"W
11	20°44'42"S	40°23'12"W
12	20°48'35"S	40°23'02"W
13	20°52'57"S	40°23'02"W
14	20°57'53"S	40°23'02"W
15	21°02'38"S	40°22'39"W
16	21°08'14"S	40°22'26"W
17	21°11'24"S	40°22'49"W

DERRAMAMENTO DE 35.000m³ DE PETRÓLEO AO LONGO DE 7 DIAS

Tabela V - Cenário de Referência (Cen Ref)

Formação	Coordenadas	
	Latitude	Longitude
1	20°06'25"S	39°40'37"W
2	20°15'20"S	39°56'39"W
3	20°20'33"S	39°56'24"W
4	20°24'58"S	40°09'02"W
5	20°28'55"S	40°08'31"W
6	20°33'35"S	40°08'46"W
7	21°27'10"S	40°33'17"W
8	21°32'48"S	40°33'17"W
9	21°41'07"S	40°32'43"W
10	21°47'31"S	40°33'48"W
11	21°53'06"S	40°34'19"W

Tabela VI - Cenário de Referência com efetuação do remanejamento das formações (Cen Ref rem)

Formação	Coordenadas	
	Latitude	Longitude
1	20°58'14"S	40°42'13"S
2	21°04'51"S	40°42'44"S
3	21°11'14"S	40°41'58"S
4	21°18'07"S	40°42'44"S
5	21°24'44"S	40°42'44"S
6	21°31'37"S	40°42'29"S
7	21°27'10"S	40°33'17"W
8	21°32'48"S	40°33'17"W
9	21°41'07"S	40°32'43"W
10	21°47'31"S	40°33'48"W
11	21°53'06"S	40°34'19"W

Tabela VII - Cenário de Referência com aumento de 50% CEDRO (Cen Ref + 50%)

Formação	Coordenadas	
	Latitude	Longitude
1	20°03'51"S	39°40'33"W
2	20°06'24"S	39°41'13"W
3	20°13'10"S	39°56'07"W
4	20°16'20"S	39°56'34"W
5	20°19'30"S	39°56'47"W
6	20°23'33"S	40°08'18"W
7	20°26'05"S	40°08'18"W
8	20°30'05"S	40°08'18"W
9	20°32'50"S	40°07'51"W
10	21°14'08"S	40°28'24"W
11	21°18'46"S	40°28'50"W
12	21°24'14"S	40°29'17"W
13	21°30'07"S	40°29'30"W
14	21°36'11"S	40°29'17"W
15	21°38'23"S	40°30'00"W
16	21°41'56"S	40°29'12"W
17	21°45'42"S	40°29'28"W

Tabela VIII - Cenário de Referência com aumento de 50% CEDRO e efetuação do remanejamento das formações (Cen Ref + 50% rem)

Formação	Coordenadas	
	Latitude	Longitude
1	21°06'17"S	40°41'39"W
2	21°11'18"S	40°40'56"W
3	21°18'31"S	40°41'25"W
4	21°26'08"S	40°40'56"W
5	21°32'40"S	40°41'39"W
6	21°37'41"S	40°40'43"W
7	21°45'17"S	40°41'25"W
8	21°51'08"S	40°41'39"W
9	21°57'40"S	40°41'39"W
10	21°14'08"S	40°28'24"W
11	21°18'46"S	40°28'50"W
12	21°24'14"S	40°29'17"W
13	21°30'07"S	40°29'30"W
14	21°36'11"S	40°29'17"W
15	21°38'23"S	40°30'00"W
16	21°41'56"S	40°29'12"W
17	21°45'42"S	40°29'28"W